

**KAJIAN SUHU DAN WAKTU KARBONISASI PEMBUATAN
KARBON AKTIF UNTUK PEMISAHAN FFA PADA MINYAK
GORENG BEKAS**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



MOH. RIZAL FAUZI
NIM. 145061100111008

DINDIES LUPITA SARI
NIM. 145061101111002

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

KAJIAN SUHU DAN WAKTU KARBONISASI PEMBUATAN KARBON AKTIF UNTUK PEMISAHAN FFA PADA MINYAK GORENG BEKAS

SKRIPSI TEKNIK KIMIA

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Moh. Rizal Fauzi

145061100111008

Dindies Lupita Sari

145061101111002

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 28 Mei 2018

Dosen Pembimbing I

Ir. Bambang Poerwadi, M.S.

NIP. 19600126 198603 1 003

Dosen Pembimbing II

Rama Oktavian, ST., M.Sc

NIP.19861021 201404 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Ir. Bambang Poerwadi, M.S.

NIP. 19600126 198603 1 003

IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI :

**KAJIAN SUHU DAN WAKTU KARBONISASI PEMBUATAN KARBON AKTIF
UNTUK PEMISAHAN FFA PADA MINYAK GORENG BEKAS**

Nama Mahasiswa / NIM : Moh. Rizal Fauzi / 145061100111008
Dindies Lupita Sari / 145061101111002
Program Studi S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Poerwadi, MS
Dosen Penguji 2 : Ir. Bambang Ismuyanto, MS
Dosen Penguji 3 : A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati, S.T., M.T.

Tanggal Ujian : 21 Mei 2018
SK Penguji : 1003/UN10.F07/SK/2018

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran saya dari berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).







UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 84/UN10.F07.13/PP/2013
Sertifikat ini diberikan kepada :

MOH. RIZAL FAUZI
Dengan Judul Skripsi :

Kajian Suhu dan Waktu Karbonisasi Pembuatan Karbon Aktif untuk Pemisahan FFA pada Minyak Goreng Bekas (*Study of Temperature and Carbonization Time of Making Activated Carbon for FFA Separation on Waste Cooking Oil*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 31 MAY 2019



Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran saya dari berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).



Malang, 28 Mei 2018
Mahasiswa II,

METERAI
TEMPEL

A85A2AFF120964591

6000
ENAM RIBURUPIAH

Dindies Lupita Sari
NIM. 145061101111002



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 8.5/EN10.107.18/PP/2018
Sertifikat ini diberikan kepada :

DINDIES LUPITA SARI
Dengan Judul Skripsi :

Kajian Suhu dan Waktu Karbonisasi Pembuatan Karbon Aktif untuk Pemisahan FFA pada Minyak Goreng Bekas (*Study of Temperature and Carbonization Time of Making Activated Carbon for FFA Separation on Waste Cooking Oil*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 31 MAY 2019

Ketua Program Studi Teknik Kimia


Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19500126 198603 1 001



*Teriring Ucapan Terimakasih Kepada:
Ayahanda dan Ibunda Tercinta*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya serta petunjuk dan kekuatan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Skripsi ini berjudul “*Kajian Suhu dan Waktu Karbonisasi Pembuatan Karbon Aktif Untuk Pemisahan FFA Pada Minyak Goreng Bekas*” disusun dan diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar sarjana teknik.

Skripsi ini diharapkan dapat menambah pengalaman, wawasan, serta ilmu pengetahuan dan teknologi bagi penulis, pembaca, dan masyarakat umum. Sehingga skripsi ini mampu memberikan solusi alternatif dalam penyelesaian permasalahan-permasalahan yang sedang maupun telah terjadi, khususnya yang berkaitan dengan pengolahan limbah minyak goreng bekas dan proses adsorpsi.

Skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik karena adanya dukungan dan bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak kepada penulis. Oleh karena itu, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Ir. Bambang Poerwadi, M.S. selaku dosen pembimbing utama skripsi dan Ketua Jurusan Teknik Kimia FT-UB;
2. Rama Oktavian, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua skripsi;
3. Supriyono, S.T., M.T. dan Dr. Eng. Christina W. K., S.T., M.T. selaku dosen bidang rekayasa energi dan perminyakan yang telah membantu dan mendukung penyusunan skripsi;
4. Evi Sulviani Nengseh, A. Md. selaku kepala laboran Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT-UB;
5. Dosen-dosen dan tenaga kependidikan di Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah membantu dan mendukung penyusunan skripsi;
6. Kepala laboran lainnya di Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah membantu dan mendukung penyusunan skripsi;
7. CV Sumber Sari, Jember yang telah bersedia menjadi pemasok bahan baku serabut kelapa dalam penelitian kami;
8. Orang tua penulis yang telah membantu dan mendukung penyusunan skripsi;
9. Teman-teman skripsi bidang rekayasa energi (Nia paramita, Valeria Ira Yunita, Jessy Fadhehans Natannael, Naufal Zuhdi, Nadia Sjavira Mahardana, Mila Baarik

- Imansari, Alfira Asaidah Hasna Ilhami, Zaidar Wahida Zia, dan Daud Apriwaluyo) yang telah memberikan motivasi, dukungan, dan bantuan dalam penyusunan skripsi;
10. Teman-teman Angkatan 2014 di Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah membantu dan mendukung penyusunan skripsi;
 11. Berbagai pihak yang telah membantu proses penyusunan skripsi ini.

Dengan sepuh hati penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini, sehingga penulis masih mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dan memberikan manfaat dan kontribusi ilmiah yang besar bagi penulis, pembaca, dunia pendidikan, dan masyarakat umum.



Malang, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR SIMBOL	xixvii
RINGKASAN	xviii
SUMMARY	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Serabut Kelapa	5
2.2 Karbon Aktif	6
2.3 Transfer Massa Pada Karbon Aktif	7
2.4 Pembuatan Karbon Aktif	8
2.5 Karbonisasi	9
2.6 Aktivasi Karbon Aktif	12
2.7 Mekanisme Aktivasi menggunakan larutan asam fosfat Karbon Menggunakan H_3PO_4	13
2.8 Analisa Fourier Transform Infrared (FTIR) Karbon Aktif	14
2.9 Minyak Goreng Bekas	16
2.9.1 Asam Lemak Bebas (<i>Free Fatty Acid</i>) pada Minyak	18
2.9.2 Kadar Air pada Minyak	19
2.10 Adsorpsi	19
2.11 Kesetimbangan Adsorpsi	20

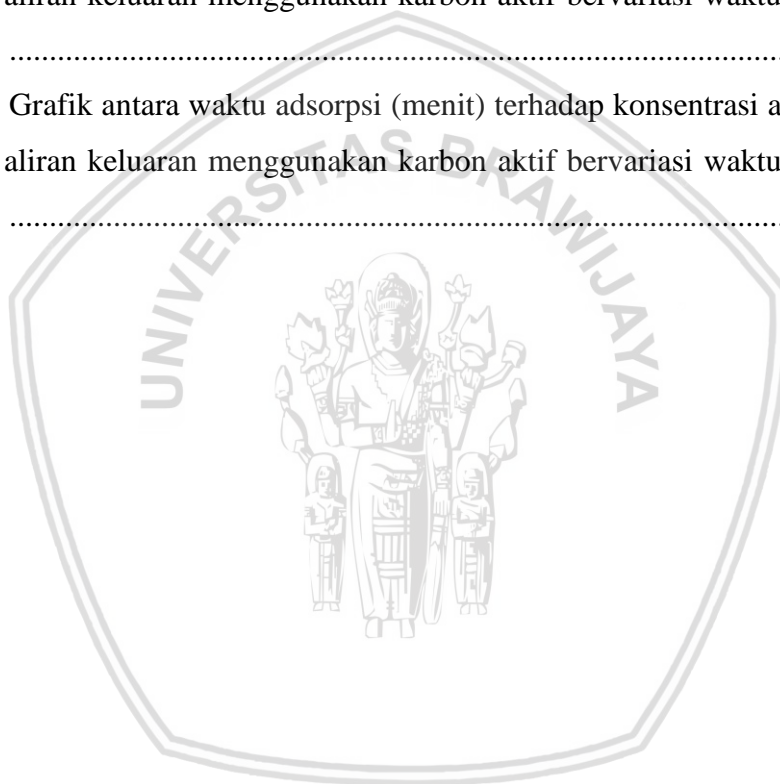
2.11.1 Adsorpsi Isotermis	20
2.11.2 Adsorpsi Freundlich	21
2.11.3 Adsorpsi <i>Langmuir</i>	22
2.12 Kolom Adsorpsi	22
2.12.1 Kurva Adsorpsi (<i>Breakthrough</i>)	23
2.12.2 Zona Transfer Massa	25
2.13 Spektrofotometri UV-Vis	26
2.14 <i>Material Safety Data Sheet</i> Bahan yang Digunakan	27
2.15 Penelitian Sebelumnya	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	31
3.2 Variabel Penelitian	31
3.2.1 Variabel Tetap	31
3.2.2 Variabel Bebas	32
3.2.3 Variabel Terikat	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	32
3.3.1 Alat Penelitian	32
3.3.2 Bahan Penelitian	33
3.4 Prosedur Penelitian	33
3.4.1 Uji Kriteria Awal Minyak Goreng Bekas	34
3.4.2 Pembuatan Karbon dari Serabut Kelapa	35
3.4.3 Pengujian Kriteria Karbon dan Karbon Aktif	38
3.4.4 Penentuan Kapasitas Adsorpsi	40
3.4.5 Pemisahan FFA pada Minyak Goreng Bekas secara Kontinyu menggunakan Kolom Adsorpsi	41
3.5 Rangkaian Alat	44
3.5.1 Proses Karbonisasi	44
3.5.2 Adsorpsi Minyak Goreng Bekas secara Kontinyu	45
3.5.3 Dimensi Kolom Adsorpsi	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Pembuatan Karbon dari Serabut Kelapa	47

4.2 Karakterisasi Karbon dan Karbon Aktif.....	48
4.2.1 Analisa <i>Yield</i> Karbon.....	49
4.2.2 Analisa Kadar Abu Karbon dan Karbon Aktif	50
4.2.3 Analisa Kadar Air	53
4.2.4 Analisa Daya Serap Metilen Biru	54
4.2.5 Analisa FT-IR Karbon dan Karbon Aktif.....	58
4.3 Adsorpsi Batch	61
4.4 Pengujian Adsorpsi Isotermis	62
4.4.1 Adsorpsi <i>Freundlich</i> Isotermis	62
4.4.2 Adsorpsi <i>Langmuir</i> Isotermis	64
4.5 Pengaruh Suhu dan Waktu Karbonisasi Terhadap Proses Pemisahan FFA pada Minyak Goreng Bekas Menggunakan Kolom Adsorpsi	66
4.6 Hasil Uji Parameter Minyak Goreng Bekas	70
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan.....	73
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN 1 DATA DAN PERHITUNGAN	81
LAMPIRAN 2 DOKUMENTASI KEGIATAN.....	109
LAMPIRAN 3 <i>CURRICULUM VITAE</i> PENULIS I	113
LAMPIRAN 4 <i>CURRICULUM VITAE</i> PENULIS II.....	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi proses transfer massa pada karbon aktif selama proses adsorpsi .	8
Gambar 2.2. Skema reaksi proses karbonisasi selulosa menjadi karbon	11
Gambar 2.3. Rantai trigliserida minyak atau lemak.....	16
Gambar 2.4. Skema kolom adsorpsi <i>fixed-bed</i>	23
Gambar 2.5. Skema <i>breakthrough</i> adsorpsi pada kolom <i>fixed-bed</i>	24
Gambar 2.6. Skema zona transfer massa (MTZ)	25
Gambar 2.7. Skema bagian zona transfer massa.....	26
Gambar 3.1. Diagram alir pengujian kadar asam lemak bebas (<i>free fatty acid</i>).....	34
Gambar 3.2. Diagram alir pengujian kadar air.....	35
Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan karbon aktif dari serabut kelapa	36
Gambar 3.4. Diagram alir aktivasi karbon aktif menggunakan larutan asam fosfat.....	37
Gambar 3.5. Diagram alir pengayakan karbon aktif.....	37
Gambar 3.6. Diagram alir pengujian kadar air karbon aktif	38
Gambar 3.7. Diagram alir pengujian kadar abu karbon aktif.....	39
Gambar 3.8. Diagram alir pengujian daya serap karbon aktif terhadap metilen biru ...	40
Gambar 3.9. Diagram alir kesetimbangan adsorpsi pada pemisahan FFA pada minyak goreng bekas	41
Gambar 3.10. Diagram alir pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan kolom adsorpsi.....	42
Gambar 3.11. Diagram alir keseluruhan proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan kolom adsorpsi	43
Gambar 3.12. Rangkaian alat proses karbonisasi	44
Gambar 3.13. Rangkaian alat proses adsorpsi secara kontinyu	45
Gambar 3.14. Dimensi kolom adsorpsi.....	46
Gambar 4.1. Karbon aktif dengan ukuran -50+60 dan -60+80 mesh	48
Gambar 4.2. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap <i>yield</i> (%) pada setiap variabel waktu karbonisasi	49
Gambar 4.3. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap kadar abu (%) pada setiap variabel waktu karbonisasi	51
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap kadar air (%) pada setiap variabel waktu karbonisasi	53

Gambar 4.5. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi ($^{\circ}\text{C}$) terhadap daya serap metilen biru (mg/g) pada setiap variabel waktu karbonisasi	55
Gambar 4.6. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi ($^{\circ}\text{C}$) terhadap luas permukaan (m^2/g) pada setiap variabel waktu karbonisasi	57
Gambar 4.7. Hasil uji FT-IR karbon aktif.....	59
Gambar 4.8. Grafik kesetimbangan adsorpsi	62
Gambar 4.9. Grafik persamaan adsorpsi isotermis <i>freundlich</i>	63
Gambar 4.10. Grafik persamaan adsorpsi isotermis <i>langmuir</i>	65
Gambar 4.11. Grafik antara waktu adsorpsi (menit) terhadap konsentrasi adsorbat pada aliran keluaran menggunakan karbon aktif bervariasi waktu karbonisasi.	66
Gambar 4.12. Grafik antara waktu adsorpsi (menit) terhadap konsentrasi adsorbat pada aliran keluaran menggunakan karbon aktif bervariasi waktu karbonisasi.	67



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Syarat mutu karbon aktif teknis (SNI) no. 06-3730-1995	7
Tabel 2.2. Standar mutu minyak goreng	18
Tabel 2.3. Spektrum radiasi UV-Vis	27
Tabel 4.1. Karakteristik bahan baku	47
Tabel 4.2. Daya serap metilen biru sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat pada kondisi yang sama	56
Tabel 4.3. Luas permukaan sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat pada kondisi yang sama	58
Tabel 4.4. Hasil analisa FT-IR karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat	60
Tabel 4.5. Data hasil kesetimbangan adsorpsi	61
Tabel 4.6. Data hasil perhitungan pengujian persamaan <i>freundlich</i>	63
Tabel 4.7. Data hasil perhitungan pengujian persamaan <i>langmuir</i>	65
Tabel 4.8. Data hasil uji minyak goreng bekas	70
Tabel 4.9. Data performa karbon aktif dalam penyerapan FFA	71

DAFTAR SIMBOL

Besaran Satuan	Satuan	Simbol
Komponen	gram per mol atau gr/ mol	Mr
Volume	Liter (L) atau mililiter (ml)	V
Normalitas	N	N
Massa	gram (gr) atau miligram (mg)	m
Konsentrasi	mol per liter	C
Waktu	menit	t
Konsentrasi	miligram per liter (mg/L) atau <i>part per milion</i>	X
Suhu	Celcius	°C
Molaritas	mol per liter atau mol/ liter	M
Absorbansi	cm ⁻¹ atau per <i>centimeter</i>	A
Luas Permukaan	meter persegi per gram (m ² / gram)	S _{MB}
Daya Serap	miligram per gram (mg/ gram)	q _m
Luas Partikel	Amstrong atau Å	A _d
Laju alir	mililiter per menit (ml/menit)	q
Densitas	gram per milileter	ρ
Ukuran partikel	milimeter atau mm	D _p

RINGKASAN

Moh. Rizal Fauzi dan Dindies Lupita Sari, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Maret 2018, *Kajian Suhu dan Waktu Karbonisasi Pembuatan Karbon Aktif Untuk Pemisahan FFA Pada Minyak Goreng Bekas*, Dosen Pembimbing: Ir. Bambang Poerwadi, M.S. dan Rama Oktavian S.T., M.Sc.

Minyak goreng bekas merupakan minyak goreng nabati yang telah melalui proses penggorengan. Minyak goreng bekas memiliki kandungan air dan asam lemak bebas yang tinggi serta tidak sesuai dengan SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng. Oleh karena itu perlu adanya proses perlakuan awal terhadap limbah minyak goreng bekas agar kualitasnya sesuai dengan SNI minyak goreng, salah satu cara memurnikan minyak goreng bekas adalah dengan proses adsorpsi kontinyu oleh karbon aktif yang terbuat dari serabut kelapa. Serabut kelapa memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif melalui proses karbonisasi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan dan terhadap pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dalam kolom adsorpsi. Penelitian ini menggunakan variasi suhu dan waktu operasi proses karbonisasinya, yaitu suhu 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, dan 600°C dalam waktu 60 menit, 70 menit, dan 80 menit. Kemudian sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit, 600 °C selama 60 menit, dan 600 °C selama 70 menit akan digunakan dalam pemisahan FFA pada minyak goreng bekas untuk menentukan proses yang optimum dalam memurnikan minyak goreng bekas.

Berdasarkan karakteristik karbon aktif untuk pemisahan FFA pada minyak goreng bekas, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi maka kualitas karbon aktif yang dihasilkan akan semakin meningkat. Suhu karbonisasi berpengaruh signifikan terhadap karakteristik karbon aktif, dimana dengan suhu karbonisasi 400 °C - 450 °C karakteristik karbon aktifnya tidak memenuhi SNI Karbon Aktif, sedangkan suhu karbonisasi 500 °C - 600 °C telah memenuhi SNI Karbon Aktif tentang parameter kadar air, kadar abu, dan daya serap metilen biru. Waktu karbonisasi tidak berpengaruh signifikan terhadap karakteristik karbon aktif yang dibuktikan dengan nilai BNT > nilai beda nyata pada Analisa BNT. Pada pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu, semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi, kadar FFA pada aliran keluaran akan semakin kecil. Nilai persentase reduksi FFA terbesar terdapat pada karbon aktif yang diproduksi dengan suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit yaitu sebesar 96% hingga menit ke-90, dengan kualitas minyak goreng hasil proses adsorpsinya telah memenuhi SNI Minyak Goreng 01-3741-2013 tentang kadar air dan kadar FFA, yaitu kadar air 0,127% dan kadar FFA 0,167%.

Kata Kunci: Karbon Aktif, Minyak Goreng Bekas, Pemisahan FFA, Suhu Karbonisasi, Waktu Karbonisasi.

SUMMARY

Moh. Rizal Fauzi and Dindies Lupita Sari, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, March 2018, Study of Temperature and Carbonization Time of Making Activated Carbon for FFA Separation on Waste Cooking Oil, Supervisor: Ir. Bambang Poerwadi, M.S. and Rama Oktavian S.T., M.Sc.

Waste cooking oil is a used vegetable cooking oil that contain high free fatty acids (FFA) and water content. This mean that the waste cooking oil is not accordance to SNI standard 01-3741-2013 of cooking oil. Therefore, pre-treatment process is needed to increase the quality of waste cooking oil, so it can accordance to SNI standard of cooking oil. One of the methods is to separate FFA on waste cooking oil by doing continuous adsorption process with activated carbon made from coconut fiber. Coconut fiber have high lignocellulose content, so it is very potential as a raw material for activated carbon production. This research was conducted to determine the effect of temperature and carbonization time on the characteristics of produced activated carbon and on the continual process of FFA separation on waste cooking oil in an adsorption column. This research used a variation of temperatures and carbonization times of 400 °C, 450 °C, 500 °C, 550 °C, and 600 °C, and 60 minutes, 70 minutes, and 80 minutes respectively. Activated carbon at temperature 550 °C for 70 minutes, 600 °C for 60 minutes, and 600 °C for 70 minutes carbonization will be used in a FFA separation on cooking oil to determine the optimum process in FFA separation on waste cooking oil.

Based on activated carbon characteristics and ongoing FFA separation on waste cooking oil test, there are some conclusions. The increasing of temperature and carbonization time will increase the quality of activated carbon. Carbonization temperature has a significant effect on the characteristics of activated carbon. Characteristic of activated carbon at carbonization temperature 400 °C - 450°C is not in accordance to SNI of activated carbon, while the carbonization temperature 500 °C - 600 °C has accordance to SNI of Activated Carbon about water content, ash content, and methylene blue sorption capacity. Carbonization time doesn't have significant effect to characteristic of activated carbon, evidenced by BNT value > real difference value in BNT analysis. In the continuous FFA separation on waste cooking oil test, the increasing of temperature and carbonization time will decrease the FFA level in the *effluent* stream. The highest percentage reduction FFA is found in activated carbon with carbonization temperature of 600 °C for 70 minutes, that is 96% until 90th minutes, with the produced cooking oil through the continuous adsorption has accordance to SNI 01-3741-2013 about water and FFA content, that have 0.127% of moisture and 0,167% of FFA content.

Keywords: Activated Carbon, FFA Separation, Temperature of Carbonization, Time of Carbonization, Waste Cooking Oil.

LAMPIRAN 3
CURRICULUM VITAE PENULIS I



1. Nama : Moh. Rizal Fauzi
 2. NIM : 145061100111008
 3. Tempat, Tanggal Lahir : Situbondo, 24 September 1996
 4. Jenis Kelamin : Laki-laki
 5. Agama : Islam
 6. Status Perkawinan : Belum Kawin
 7. Alamat : Tanjung Kamal Timur, RT.02 RW.15, Mangaran, Situbondo
 8. No. Telp/HP : 082301583195
 9. Email : icank.fauzi@gmail.com

A. Pendidikan Formal

No.	Jenjang Pendidikan	Nama Sekolah	Kota	Tahun
1	SD	SDN 2 Tanjung Kamal	Situbondo	2002 – 2008
2	SMP	SMPN 2 Panji	Situbondo	2008 – 2011
3	SMA	SMAN 2 Situbondo	Situbondo	2011 – 2014
4	S1	Universitas Brawijaya	Situbondo	2014 – Sekarang

B. Pendidikan Non Formal

No.	Nama Lembaga Pendidikan/ Training/Course	Lama (Hr/Bln/th)	Tempat Pendidikan dan Kota	Tahun
1	Aspen Hysys 8.8 Training Program	2 Hari	Malang	2018
2	ROYAL (English Course)	3 bulan	Malang	2018

C. Pengalaman Magang/PKL

No.	Posisi / Bagian	Lama (Hr/Bln/th)	Nama Perusahaan	Tahun
1	Perencanaan dan Pengendalian (Candal) Departemen Produksi Pabrik IIB	1 Bulan	PT Petrokimia Gresik	2017

D. Pengalaman dan Kegiatan Kewirausahaan (Usaha)

1. Program Mahasiswa Wirausaha 2017 Bidang Pangan

E. Prestasi /Penghargaan

No	Prestasi	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	Medali Emas – InIIC (International Invention and Innovation Competition) 2018	MNNF Network	2018
2	Pendanaan Proposal “KEJUTAN” dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM-K	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	2018
3	Pendanaan Proposal “APIS BEARD” dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM- Penelitian Eksakta	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	2018

4	Medali Perunggu – SIIF (Seoul International Invention Fair) 2017	Korea Invention Promotion Association	2017
5	Medali Perunggu – 4 th International Young Inventors Award (IYIA) 2017	Indonesia Invention and Innovation Promotion Association (INNOPA)	2017
6	Juara Favorit Poster dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM-Penelitian Eksakta	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	2017
7	Juara Favorit Presentasi dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM-Penelitian Eksakta	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	2017
8	Finalis dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM-Penelitian Eksakta	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	2017
9	Medali Emas – World Young Inventors Exhibition (WYIE) Malaysia 2017	Malaysia Invention and Design Society (MINDS)	2017
10	Finalis Boot Camp Akselerasi Inovasi 2017	Universitas Brawijaya	2017
11	Pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) 2017	Universitas Brawijaya	2017
12	Pendanaan Proposal dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM-Penelitian Eksakta	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	2017
13	Finalis I-Challenge 2016	Universitas Brawijaya	2016
14	Medali Emas – 3 rd International Young Inventors Award (IYIA) 2016	Indonesia Invention and Innovation Promotion Association (INNOPA)	2016

15	Medali Emas – World Invention Creativity Contest (WICC)	Korea University Invention Assosiation	2016
16	<i>Special Award</i> – World Invention Creativity Contest (WICC)	Korea University Invention Assosiation	2016
17	Juara 1I-Challenge 2015	Universitas Brawijaya	2015
18	Juara Harapan III OSN Kimia Tingkat Kabupaten	Dinas Pendidikan Kabupaten Situbondo	2014
19	Semifinalis Olimpiade Geografi Tingkat Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara	Universitas Negeri Malang	2013
20	Harapan III Lomba Karya Tulis Ilmiah (LKTI) tingkat kabupaten	Dinas Pendidikan Kabupaten Situbondo	2013
21	Juara 2 Cerdas Cermat Pancasila	Dinas Pendidikan Kabupaten Situbondo	2013
22	Juara Umum Kelas X Semester Ganjil dan Semester Genap	SMAN 2 Situbondo	2011/2012
23	Juara Umum Kelas XI Semester Ganjil dan Semester Genap	SMAN 2 Situbondo	2012/2013
24	Juara Umum Kelas XII Semester Ganjil dan Semester Genap	SMAN 2 Situbondo	2013/2014

F. Pengalaman Kepanitaan dan Organisasi

No	Jabatan	Nama Kepanitaan	Tingkat	Tahun
1.	Sekretaris Departemen (Sekdep) Riset dan Teknologi	Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HMTK) FT-UB	Jurusan	2017 - Sekarang
2.	Staff Departemen Riset dan Teknologi	Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HMTK) FT-UB	Jurusan	2016 - 2017
3.	Koordinator Steering Committee (SC)	I-Challenge 2016	Internasional 1	2016

4.	Staff Pendampingan Bidang Acara	Krida Jurusan “REAKTOR” Teknik Kimia	Nasional	2016
5.	Staff Pendampingan Bidang Acara	PK2 MABA Jurusan Teknik Kimia	Jurusan	2016
6.	Kepala Bidang (Kabid)	Transportasi, Akomodasi, dan Perlengkapan (Transkoper) LKMM TD Teknik Kimia	Jurusan	2016
7	Staff Departemen Riset dan Teknologi	Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia (HMTK) FT-UB	Jurusan	2015 - 2016
8	Ketua Pelaksana	Pelatihan Hysys Teknik Kimia	Jurusan	2015
9	Kepala Bidang (Kabid)	Transportasi, Akomodasi, dan Perlengkapan (Transkoper) LKMM TD Teknik Kimia	Jurusan	2015
10	PJ Lapangan Bidang Acara	Krida Jurusan “SINTESIS” Teknik Kimia	Jurusan	2015
11	PJ Lapangan Bidang Acara	PK2 MABA Jurusan Teknik Kimia	Jurusan	2015
12	Kepala Bidang (Kabid)	Transportasi, Akomodasi, dan Perlengkapan (Transkoper) KONEKSI IV (Konsolidasi Eksternal-Internal) Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya	Jurusan	2015

13	Wakil Koordinator Steering Committee (SC)	I-Challenge 2016	Nasional	2015
----	---	------------------	----------	------



LAMPIRAN 4
CURRICULUM VITAE PENULIS II



1. Nama : Dindies Lupita Sari
 2. NIM : 145061101111002
 3. Tempat / Tanggal Lahir : Malang, 15 Juli 1996
 4. Jenis Kelamin : Perempuan
 5. Agama : Islam
 6. Status Perkawinan : Belum Kawin
 7. Alamat : Jalan Danau Bratan Timur H3H No.13, Malang
 8. No. Telp/HP : 081235027759
 9. Email : dindiesls@gmail.com

A. Pendidikan Formal

No.	Jenjang Pendidikan	Nama Sekolah	Kota	Tahun
1	SD	SDN Lesanpuro 04	Malang	2002 – 2008
2	SMP	SMPN 03 Malang	Malang	2008 – 2011
3	SMA	SMAN 05 Malang	Malang	2011 – 2014
4	S1	Universitas Brawijaya	Malang	2014 – Sekarang

B. Pendidikan Non Formal

No.	Nama Lembaga Pendidikan/ Training/Course	Lama (Hr/Bln/th)	Tempat Pendidikan dan Kota	Tahun
1	Aspen Hysys 8.8 Training Program	2 Hari	Malang	2018
2	Training: ISO 14001:2004; ISO 9001:2008; OHSAS 18001:2007	1 Hari	Malang	2017
3	ROYAL (English Course)	3 bulan	Malang	2018
4	LIA (English Course)	1 Tahun	Malang	2012

C. Pengalaman Magang/PKL

No.	Posisi / Bagian	Lama (Hr/Bln/th)	Nama Perusahaan	Tahun
1	Process Engineering Paraxylene Refinery Unit	1 Bulan	PT Pertamina Refinery Unit IV	2017

D. Pengalaman dan Kegiatan Kewirausahaan (Usaha)

1. Program Mahasiswa Wirausaha 2017 Bidang Pangan
2. PKM Dikti 2018 Bidang PKM-K

E. Pengalaman Studi

1. Universitas Gadjah Mada (UGM) Jogjakarta - Program Student Exchange
BKKMTKI Tahun 2016

E. Prestasi /Penghargaan

No	Nama Penghargaan	Tahun	Lembaga Pemberi Penghargaan	Kota
1.	Pendanaan Proposal “KEJUTAN” dalam PKM Dikti Tahun 2017 Bidang PKM-K	2018	Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia	Malang

2.	Bronze Medal - International Young Inventor's Award	2017	Indonesia Invention and Innovation Promotion Association (INNOPA	Jakarta
3.	Pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha (PMW) 2017	2017	Universitas Brawijaya	Malang
4.	Finalis LKTI Engineering Week	2017	Universitas Brawijaya	Malang
5.	Finalis Olimpiade Agroindustri HIMATITAN	2013	Universitas Brawijaya	Malang
6.	Kuarter Finalis Kompetisi Farmasi Nasional	2013	Universitas Brawijaya	Malang
7.	ANCQ (Australian National Chemistry Quiz) – as distinction	2013	Royal Australian Chemical Institute	
8.	Juara I Deutsche Tage – Kreativitas dan Imajinasi Jerman	2012	Universitas Negeri Malang	Malang
9.	Konsultan NEO (National English Olympiad)	2012	Universitas Muhammadiyah Malang	Malang

F. Pengalaman Kepanitaan

No	Jabatan	Nama Kepanitaan	Tingkat	Tahun
1.	Kepala Departemen	Departemen Akademik Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia	2018	2017 - 2018
2.	Sekretaris Departemen	Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Himpunan	Jurusan	2016 - 2017

		Mahasiswa Teknik Kimia		
3.	Bendahara Umum	Rapat Koordinasi Nasional BKKMTKI	Nasional	2016
4.	Penanggung Jawab (PJ) Bidang	Humas Internal Indonesia Chemical Engineering Event	Internasional	2016
5.	Staff Pendampingan Bidang Acara	Krida Jurusan “REAKTOR” Teknik Kimia	Nasional	2016
6.	Staff Pendampingan Bidang Acara	PK2 MABA Jurusan Teknik Kimia	Jurusan	2016
7.	Bendahara Umum	Public Communication	Jurusan	2015
8.	Bendahara I	Program Pembinaan Mahasiswa Baru 2015	Jurusan	2015
9.	Stirring Committee (SC)	Indonesia Chemical Engineering Event	Nasional	2015
10.	Kepala Bidang	Transportasi, Akomodasi, dan Perlengkapan (Transkoper) Pelatihan Hysys Teknik Kimia	Jurusan	2015
11.	Staff Bidang	Kesehatan KONEKSI IV (Konsolidasi Eksternal-Internal) Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya	Jurusan	2015

G. Pengalaman Asisten

No	Asisten	Tahun
1.	Asisten Praktikum Kimia Fisika Semester Genap	2017 – 2018

2.	Asisten Praktikum Operasi Teknik Kimia Semester Ganjil	2017 – 2018
3.	Asisten Praktikum Kimia Fisika Semester Genap	2016 - 2017
4.	Asisten Praktikum Mikrobiologi Industri Semester Ganjil	2016 -2017

H. Pengalaman Proyek Dosen

No	Judul Proyek	Tahun
1.	Pengajuan Hibah Penelitian Pemula - Performa Kombinasi Adsorben Padat Pada Proses Regenerasi Minyak Jelantah Pada Kolom Kontinyu Untuk Bahan Baku Produksi Biodiesel	2017 – 2018
2.	Pengabdian Masyarakat dalam Upaya Pengembangan Kemampuan dan Usaha Ibu PKK dengan Pembuatan Sabun <i>Aromatherapy</i> di Kawasan Kesamben Blitar	2015 – 2016

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Minyak goreng bekas merupakan minyak goreng nabati yang telah melalui proses penggorengan. Minyak goreng bekas termasuk ke dalam limbah rumah tangga yang tidak dapat digunakan kembali. Minyak goreng bekas ini dibuang setelah warna minyak berubah dari kuning menjadi warna gelap akibat proses penggorengan (Mahreni, 2010). Penggunaan minyak goreng secara terus-menerus pada proses penggorengan akan mengakibatkan terjadinya reaksi degradasi yang kompleks dalam minyak, seperti reaksi polimerisasi, oksidasi, dan hidrolisis. Hal ini dapat mengakibatkan senyawa trigliserida dalam minyak terurai menjadi senyawa-senyawa lain seperti asam lemak bebas yang dapat menurunkan kualitas minyak (Canakci, 2010). Minyak goreng bekas memiliki kandungan asam lemak bebas dan air yang tinggi, sehingga tidak sesuai dengan SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng. Minyak goreng bekas yang telah mengalami penurunan kualitas tidak dapat digunakan lagi (Knothe, 2010). Sehingga perlu adanya proses perlakuan awal (*pre-treatment*) terhadap limbah minyak goreng bekas agar kandungan asam lemak bebas dan air sesuai dengan SNI 01-3741-2013, sehingga minyak goreng dapat digunakan.

Penanganan limbah tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya adalah metode adsorpsi. Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan zat terlarut (adsorbat) dalam suatu larutan sehingga menempel pada permukaan adsorben (Susinggih, 2005). Adsorben yang dapat digunakan dalam proses pemurnian minyak goreng bekas yaitu karbon aktif (Pakpahan, 2013).

Karbon aktif merupakan karbon padat berpori dengan luas permukaan yang besar karena telah melalui proses aktivasi. Karbon aktif dapat bertindak sebagai adsorben karena memiliki pori dan gugus fungsi, sehingga dapat menyerap senyawa-senyawa kimia tertentu (Sembiring, 2003). Karbon aktif dapat disintesis dari bahan alam (organik), salah satunya yaitu dari serabut kelapa. Serabut kelapa merupakan serabut yang melekat pada kulit kelapa. Serabut kelapa memiliki kandungan 5,25% air, 3,00% pektin, 2,22% abu, 43,44% selulosa, 45,84% lignin, dan 0,25% hemiselulosa. Komponen abu sendiri terdiri dari 2990

ppm Si, 2438 ppm K, 1758 ppm Na, 477 ppm Ca, 148 ppm Al, 532 ppm Mg, 187 ppm Fe, 148 ppm Al, dan komponen anorganik lain dalam kuantitas yang sangat kecil (Verma dan Varanasi, 2015).

Kandungan selulosa yang tinggi pada serabut kelapa sangat berpotensi untuk bertindak sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif (Suhas, 2016). Kualitas karbon aktif dipengaruhi oleh kesempurnaan dalam proses karbonisasinya. Sedangkan proses karbonisasi sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu karbonisasi. Proses ini akan menentukan kualitas dan kuantitas dari karbon yang dihasilkan (Vinsiah, 2010).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, Mohanty dkk. telah melakukan sintesis karbon aktif menggunakan proses karbonisasi dengan metode aktivasi menggunakan larutan asam fosfat menggunakan ZnCl_2 telah menghasilkan karbon aktif dengan % rendemen karbon aktif sebesar 52% dan luas permukaan BET sebesar $1260 \text{ m}^2/\text{g}$ pada suhu karbonisasi 500°C selama 1 jam.

Putro dkk. (2015) telah melakukan penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari limbah jerami menggunakan proses karbonisasi di dalam tanur dengan variasi suhu karbonisasi 450°C , 550°C , dan 650°C serta variasi waktu karbonisasi 1 jam, 1,5 jam, dan 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk membuat karbon aktif dengan kualitas terbaik yaitu pada suhu karbonisasi 650°C selama 2 jam. Pada kondisi ini dihasilkan karbon aktif dengan kadar air, kadar abu, kadar karbon, dan zat volatil secara berurutan yaitu 0,132%, 52,19%, 43,35%, dan 4,32%.

Lee dkk. (2017) melakukan penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa dengan menggunakan proses karbonisasi di dalam tanur dengan variasi suhu karbonisasi 400°C , 500°C , 600°C , dan 700°C serta variasi waktu karbonisasi 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, dan 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk membuat karbon aktif dengan kualitas terbaik yaitu pada suhu karbonisasi 700°C selama 75 menit. Pada kondisi ini dihasilkan karbon aktif dengan % rendemen, kadar abu, kadar karbon, dan zat volatil secara berurutan yaitu 20,953%, 35,444%, 48,443%, dan 16,106%. Selain itu, pada kondisi ini, karbon aktif yang dihasilkan memiliki daya serap terhadap iodin sebesar 348,7 44 mg/g, luas permukaan BET sebesar $132,7578 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori sebesar $0,2429 \text{ m}^3/\text{g}$, dan ukuran pori sebesar 7,3175 nm.

Studi tentang pemurnian minyak goreng bekas secara *batch* telah dilakukan oleh Pakpahan (2013) dan Yustinah (2011). Pakpahan (2013) telah berhasil mengurangi kadar FFA dari 6,823% menjadi 0,292% FFA dari minyak goreng bekas dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif dari serabut kelapa. Selain itu, Yustinah (2011) juga telah

berhasil menurunkan kadar FFA sebesar 0,244% dan bilangan peroksida sebesar 1,99 meq/kg dari minyak goreng bekas dengan metode adsorpsi menggunakan karbon aktif dari serabut kelapa.

Pemurnian secara *batch* kurang efektif karena memiliki beberapa kekurangan, seperti waktu pemurnian yang lama dan produk yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan proses secara kontinyu (Burton, 2000). Oleh karena itu diperlukan metode baru yang lebih efektif dalam proses pemurnian minyak goreng bekas, yaitu dengan menerapkan metode adsorpsi kontinyu. Proses pemurnian secara kontinyu lebih efisien dibandingkan proses pemurnian pada secara *batch*.

Studi tentang pemurnian minyak goreng bekas secara kontinyu telah dilakukan oleh Muharyanto dan Pahleva (2017). Muharyanto dan Pahleva (2017) telah melakukan pemurnian minyak goreng bekas secara kontinyu dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben karbon aktif telah berhasil mengurangi kadar FFA dari 3,83% menjadi 0,295%, bilangan peroksida dari 3,33 meq/kg menjadi 1,11 meq/kg, kadar air dari 3,334% menjadi 0,2%, serta bilangan asam dari 0,23% menjadi 0,044%. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan pemurnian minyak goreng bekas secara kontinyu dengan karbon aktif dari serabut kelapa menggunakan kolom adsorpsi.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap karakteristik dan kemampuan adsorpsi karbon aktif dari serabut kelapa untuk pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dengan menggunakan kolom adsorpsi ?

1.3 Batasan Penelitian

Terdapat beberapa batasan masalah dalam penelitian ini, yaitu sebagai berikut.

1. Minyak goreng bekas yang digunakan dalam penelitian memiliki rentang kadar FFA 3-4%.
2. Serabut kelapa diperoleh dari CV Sumber Sari, Jember.
3. Ukuran karbon yang digunakan adalah -60 +80 mesh (0,25-0,297mm).
4. Proses karbonisasi dilakukan dengan menggunakan variabel suhu dan waktu karbonisasi di dalam tanur.
5. Pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan laju alir umpan kolom 3 ml/menit.

6. Proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dilakukan dengan menggunakan tiga sampel karbon, yaitu karbon dengan kondisi operasi karbonisasi 550 °C selama 70 menit, 600 °C selama 60 menit, serta 600 °C selama 70 menit.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap karakteristik dan kemampuan adsorpsi karbon aktif dari serabut kelapa untuk pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dengan menggunakan kolom adsorpsi.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan informasi dan pengetahuan tentang suhu dan waktu yang optimal dalam proses karbonisasi untuk menghasilkan karbon aktif dari serabut kelapa dengan karakteristik dan kemampuan adsorpsi yang optimal dalam pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dengan menggunakan kolom adsorpsi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Serabut Kelapa

Serabut kelapa merupakan salah satu biomassa yang mudah didapatkan dan merupakan hasil samping pertanian. Serabut kelapa merupakan bagian terluar buah kelapa dan ketebalannya berkisar 5 – 6 cm. Komposisi serabut kelapa dalam buah kelapa sebesar 35% dari berat keseluruhan buah (Yustinah dan Hartini, 2011). Serabut kelapa yang ada di Indonesia biasanya hanya diekspor ke negara - negara maju dan hanya sebagian daerah saja yang berhasil memvariasikan produknya. Selama ini pemanfaatan serabut kelapa di Indonesia kebanyakan hanya dipakai sebagai bahan pembuatan *keset*. Padahal, serabut kelapa sebenarnya memiliki nilai jual ekonomi tinggi ketika diolah lebih lanjut. Indonesia sendiri mempunyai persebaran tanaman kelapa yang cukup besar jika dibandingkan dengan negara lainnya seperti Philipina, India, Sri Lanka, dan lain-lain (Hartini dkk., 2013).

Serabut kelapa memiliki komposisi kimia yakni lignoselulosa. Lignoselulosa merupakan unsur yang banyak mengandung karbon. Adapun beberapa komponen yang ada di dalam lignoselulosa pada serabut kelapa diantaranya selulosa dengan kandungan sebesar 5,25% air, 3,00% pektin, 2,22% abu, 43,44% selulosa, 45,84% lignin, dan 0,25% hemiselulosa. Komponen abu sendiri terdiri dari 2990 ppm Si, 2438 ppm K, 1758 ppm Na, 477 ppm Ca, 148 ppm Al, 532 ppm Mg, 187 ppm Fe, 148 ppm Al, dan komponen anorganik lain dalam kuantitas yang sangat kecil (Verma dan Varanasi, 2015). Dengan adanya kandungan selulosa yang tinggi, maka serabut kelapa berpotensi untuk bertindak sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif (Suhas dkk., 2016). Serabut kelapa sangat berpotensi sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif karena di dalam selulosa mengandung karbon yang nantinya akan di aktivasi menjadi karbon aktif (Putri dkk., 2013).

Serabut kelapa yang dapat digunakan untuk membuat karbon aktif merupakan serabut kelapa tua dimana serabutnya telah kering, dikarenakan akan lebih mudah digunakan untuk pembuatan karbon. Serabut kelapa tersebut dicuci dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran yang menempel, lalu dikeringkan dibawah sinar matahari untuk mengurangi kandungan air didalamnya, kemudian dipotong dan dihaluskan agar perendaman

menggunakan aktivator menjadi sempurna sebab akan memperbesar luas permukaan yang dapat melakukan kontak sewaktu proses aktivasi (Zuhroh, 2015).

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu karbon padat yang memiliki luas permukaan cukup tinggi dengan kandungan air 5-15%, abu 23%, dan sisanya adalah karbon. Luas permukaan yang cukup tinggi pada karbon aktif ini dikarenakan karbon telah melalui proses aktivasi menggunakan gas CO₂, uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-pori menjadi terbuka dan menjadikan daya absorpsinya lebih tinggi terhadap zat warna dan bau (Samaniego, 2002). Karbon aktif berbentuk serbuk kristal hitam yang terdiri dari pelat-pelat datar yang disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang luas permukaan berkisar antara 300 m²/g hingga 3500 m²/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal sehingga mempunyai sifat sebagai adsorben (Ratnawati dan Singgih, 2010).

Karbon aktif berbentuk kristal mikro dan non grafit yang pori-porinya mampu menyerap gas, uap dari campuran gas, dan zat – zat yang tidak terlarut atau terdispersi dalam cairan setelah melalui aktivasi sebab dapat mengembangkan struktur pori – porinya, sehingga membuat karbon aktif berpotensi sebagai adsorben. Struktur karbon aktif berbentuk seperti jaringan berpilin dari lapisan datar karbon yang dihubungkan oleh ikatan karbon rantai lurus (alifatik). Karakteristik karbon aktif bergantung dari bahan baku yang digunakan, kondisi karbonisasi dan proses aktivasi yang dilakukan. Karakteristik karbon aktif seperti gugus fungsi pada permukaan, luas permukaan, dimensi, distribusi ukuran pori serta kadar abu mempengaruhi kapasitas adsorpsi pada karbon aktif (Purnama dkk., 2006). Kapasitas adsorpsi juga bergantung pada karakteristik adsorpsinya, seperti gugus fungsi, polaritas, ukuran molekul, pKa, dan berat molekul. Kondisi larutan aktivator juga berpengaruh, seperti konsentrasi, pH, dan kemungkinan terjadinya adsorpsi terhadap zat lain (Villacarias, 2005).

Bahan baku yang dapat dibuat menjadi karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung karbon, baik yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, binatang ataupun barang tambang. Bahan-bahan tersebut adalah berbagai jenis kayu, sekam padi, tulang binatang, batu-bara, tempurung kelapa, kulit biji kopi. Bila bahan-bahan tersebut dibandingkan, serabut kelapa merupakan bahan terbaik yang dapat dibuat menjadi karbon aktif karena karbon aktif yang terbuat dari serabut kelapa memiliki mikropori yang banyak, kadar abu yang rendah, kelarutan dalam air yang tinggi dan reaktivitas yang tinggi (Putri dkk., 2013).

Karbon aktif yang berasal dari beragam bahan baku, termasuk serabut kelapa harus diolah hingga diperoleh hasil sesuai dengan syarat mutu karbon aktif teknis yang sudah ditentukan oleh SNI No. 06-3730-1995 (Aritonang dan Herling, 2009).

Tabel 2.1. Syarat mutu karbon aktif teknis (SNI) no. 06-3730-1995

No.	Parameter	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Air	%	maks 4,4	maks 15
2	Abu	%	maks 2,5	maks 10
3	Daya Serap Metilen Biru	mg/g	min 750	min 120

Sumber; Badan Standar Nasional (1995)

2.3 Transfer Massa Pada Karbon Aktif

Transfer massa dapat dikategorikan menjadi dua jenis yakni fase fluida dan fase padatan. Transfer massa terdapat pada suatu proses adsorpsi yang mana melibatkan adsorben (zat penjerap) dan adsorbate (zat terjerap). Transfer massa untuk adsorbat yang berada di antara *bulk* fase fluida dan bagian luar permukaan adsorben diatur oleh difusivitas molekular atau ionik dan difusivitas *eddy* dalam aliran turbulen. Sedangkan untuk transfer masa fase padatan pada adsorben selalu dikendalikan oleh difusi makropori yaitu difusi molekular dari permukaan luar partikel menuju situs adsorpsi di bagian dalam. Difusi makropori akan memindahkan adsorbat ke bagian luar permukaan kristal, proses pengangkutan adsorbat ke dalam kristal disebut difusi mikropori (McKetta, 1990).

Karbon aktif mampu menyerap beberapa senyawa, penyerapan tersebut melibatkan proses transfer massa. Adapun proses transfer massa tersebut terdiri dari 3 tahapan proses yakni (Chowdhury dkk., 2013):

1. *External Mass Transfer* (EMT)

External Mass Transfer (EMT) merupakan tahapan transfer massa pertama yakni senyawa yang berada di *bulk* fase cair akan melalui lapisan hidrodinamik yang berada di sekitar partikel karbon aktif. EMT disebut juga sebagai difusi film yang memegang peranan penting dan mengontrol keseluruhan penyerapan adsorbat.

2. *Internal Mass Transfer* (IMT)

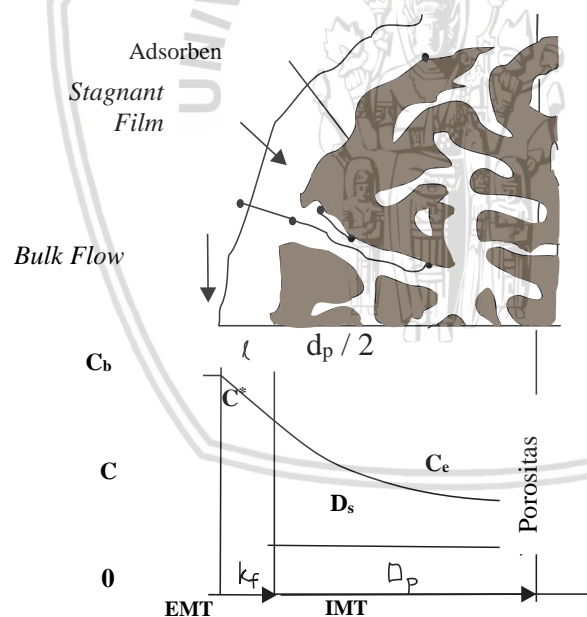
Setelah proses *External Mass Transfer* (EMT) membawa adsorbat ke permukaan luar partikel karbon aktif maka proses *Internal Mass Transfer* (IMT) akan terjadi yakni dengan membawa adsorbat ke bagian situs adsorpsi yang ada pada bagian permukaan

karbon aktif dimana akan menyebabkan terjadinya proses adsorpsi. Difusi ini sangat bergantung dari propertis dari padatan karbon aktif, seperti ukuran pori – pori, banyaknya pori, besar kecilnya padatan karbon, dan lainnya.

3. Adsorpsi

Proses adsorpsi melibatkan reaksi adsorpsi dari senyawa yang terjerap yang berlangsung sangat cepat dan tidak dianggap dapat membatasi laju perpindahan massa adsorbate. Oleh karena itu, proses tahapan yang mempengaruhi laju perpindahan adalah EMT dan IMT, karena kedua tahapan terjadi secara seri sehingga tahapan yang paling lama yang akan menjadi laju pembatas dengan *driving force* yakni gradien konsentrasi adsorbat (perbedaan konsentrasi *bulk* C_b dan konsentrasi internal dalam keadaan setimbang C_e). IMT seringkali terjadi paling lambat sehingga akan mengendalikan keseluruhan penyerapan suatu adsorbat.

Adapun ilustrasi transfer massa yang terjadi pada karbon aktif selama proses adsorpsi dapat dilihat pada gambar berikut (Chowdhury dkk., 2013).



Gambar 2.1. Ilustrasi proses transfer massa pada karbon aktif selama proses adsorpsi
Sumber; Chowdhury dkk. (2013)

2.4 Pembuatan Karbon Aktif

Bahan baku pembuatan karbon aktif secara struktural merupakan bahan karbon non grafit, bahkan semua padatan yang mengandung karbon amorf namun dengan syarat berstruktur kristalin juga dapat dikonversi menjadi karbon aktif. Oleh karena itu, banyak bahan baku yang dapat digunakan untuk membuat karbon aktif yakni seperti kayu, biomassa

lignoselulosa, gambut, lignit, dan barubara. Limbah termoplastik tidak dapat digunakan sebagai bahan baku karbon aktif karena akan meleleh seiring dengan meningkatnya suhu dan akan kehilangan bentuk serta ukuran partikelnya ketika dijadikan sebuah karbon aktif. Bahan – bahan seperti kayu, biomassa dan bahan lain yang mengandung banyak karbon dan rendah senyawa anorganik sehingga sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai prekursor karbon aktif. Adapun bahan sejenis yang dapat digunakan yakni meliputi serabut kelapa, sabut kelapa, tempurung kelapa sawit, tandan kelapa sawit, limbah pertanian seperti kulit buah kopi, serabut buah coklat, sekam padi, jerami, tongkol dan pelepah jagung (Bandosz, 2006).

Pembuatan karbon aktif melibatkan dua tahapan utama yakni meliputi (Goyal and Roop, 2005):

1. Tahap Karbonisasi

Proses karbonisasi yang dilakukan untuk bahan baku mengandung karbon dengan suhu di bawah 800 °C dalam keadaan atmosfer *inert*. Pada proses ini terjadi penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon dan pengeluaran unsur non karbon seperti oksigen, hidrogen dan nitrogen sebagai gas volatil melalui dekomposisi pirolisis. Pada tahap ini atom karbon dasar akan membentuk pori - pori melalui ikatan antar karbon dan aromatik. Pori yang terbentuk akan diisi dan ditutupi oleh produk dekomposisi atau bahan *tarry* serta atom karbon yang tidak teroganisir.

2. Tahap Aktivasi

Tahap aktivasi ini dilakukan pada produk hasil karbonisasi. Proses ini untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan karbon sehingga dapat meningkatkan porositas karbon, dengan begitu akan membuka pori yang sebelumnya telah berisi produk dekomposisi. Adanya proses aktivasi tersebut akan memperluas permukaan karbon aktif.

Semua bahan berkarbon dapat dikonversi menjadi karbon aktif melalui dua tahapan proses pembuatan yang sama, walaupun pada akhirnya sifat produk akhir akan berbeda – beda dimana bergantung pada sifat bahan baku yang digunakan, sifat agen aktivasi, dan kondisi proses karbonisasi serta aktivasi (Goyal and Roop, 2005).

2.5 Karbonisasi

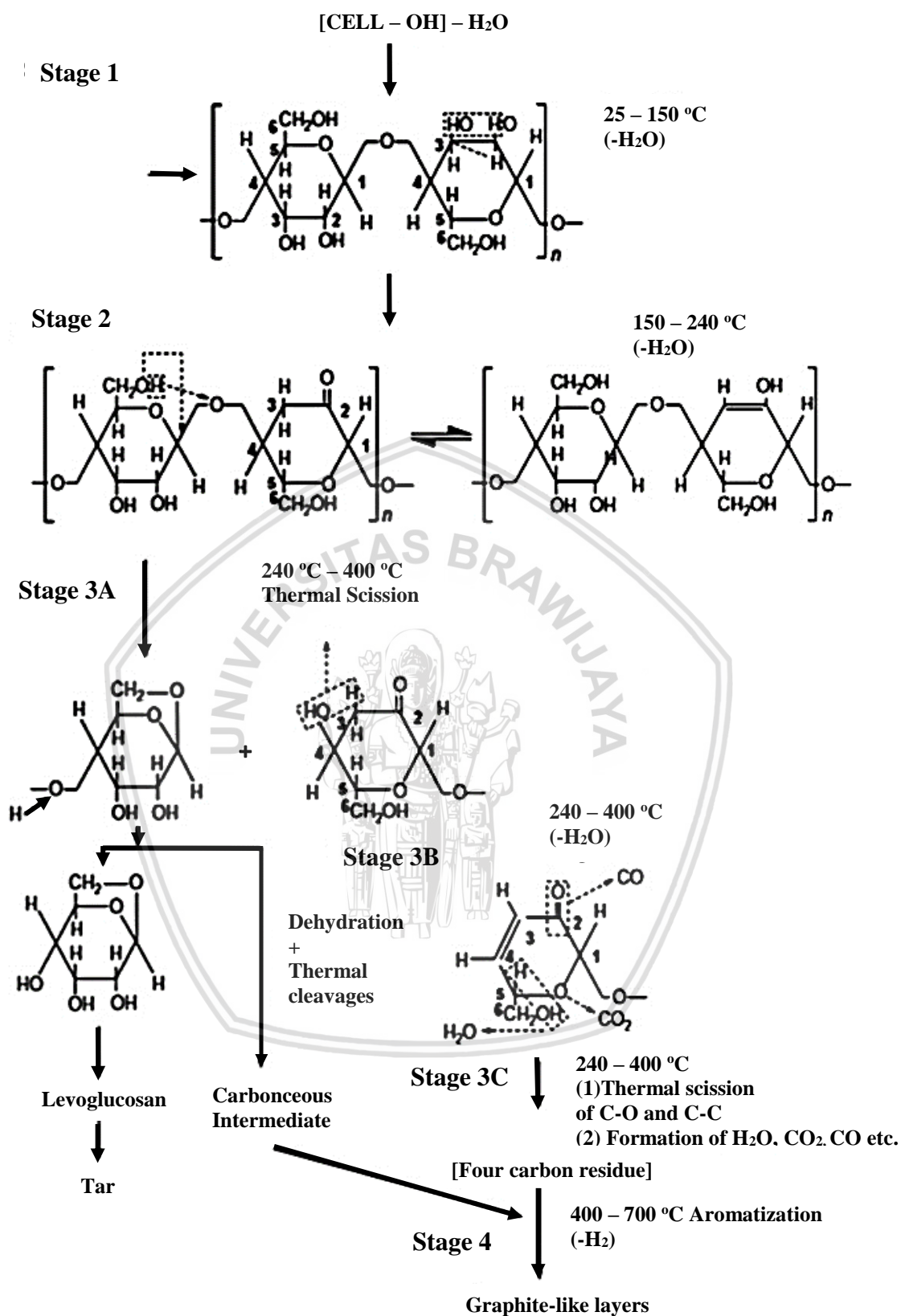
Proses karbonisasi merupakan proses pemanasan tanpa menggunakan oksigen dengan suhu dibawah 800 °C dengan tujuan untuk mentransformasi prekursor menjadi karbon, dengan mengeliminasi atom bentuk non-karbon bagian dari struktur aromatis (Chowdhury

dkk., 2013). Pada awal tahapan dari pemanasan ini, spesi atau senyawa yang memiliki ikatan tidak stabil dan non karbon seperti senyawa yang mengandung H, O dan N akan mengalami proses pelepasan zat atau penguapan. Sedangkan atom karbon akan membentuk kembali struktur yang lebih kristalin dengan cara residual atom karbon akan mengelompok dan rantai aromatik akan membentuk ikatan silang secara acak dengan meninggalkan *interstices*, adanya *interstices* akan membentuk dan meningkatkan pori - pori. Mekanisme yang saling terkait antara satu dengan yang lainnya antara lain proses kombinasi kompleks dari pirolisis selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang akan menghasilkan suatu pori (Goyal and Roop, 2005).

Adapun tahapan yang terjadi selama mekanisme proses karbonisasi selulosa sebagai berikut (Chen, 2017).

1. Tahap 1 (25 °C - 150°C), terjadi eliminasi kandungan air (H₂O).
2. Tahap 2 (150 °C - 240°C), terjadi pemecahan struktur molekul air karena adanya fragmen hidrogen dan hidroksil. Terjadinya pembentukan ikatan C=O, dan C=C, dan proses dehidrasi intramolekuler.
3. Tahap 3 (240 °C - 400 °C) terjadi degradasi termal, dimana mulai terbentuknya ikatan C-C dan C-O yang nantinya akan membentuk senyawa, seperti tar, H₂O, CO, dan CO₂.
4. Tahap 4 (>400 °C) : Setiap unit selulosa akan mengalami degradasi yang menghasilkan senyawa berikatan dengan 4 karbon.

Adapun skema reaksi konversi prekursor selulosa menjadi karbon melalui proses karbonisasi dapat dilihat pada gambar berikut (Chen, 2017).



Gambar 2.2. Skema reaksi proses karbonisasi selulosa menjadi karbon
Sumber; Chen (2017)

Pada sisi lain terdapat interaksi dari uap sekunder terhadap sisa padatan yang menghasilkan karbon selama proses pirolisis selulosa. Hemiselulosa merupakan senyawa yang paling tidak stabil diantara 3 dasar biopolimer dari material lignoseluloik. Jenis karbohidrat ini akan terdekomposisi pada suhu antara 180°C hingga 260°C, yang menghasilkan senyawa volatil dan sedikit arang dibandingkan pada selulosa. Lignin merupakan fraksi biomassa dengan suhu dekomposisi terbesar, yaitu berkisar antara 280°C hingga 500°C. Pirolisis lignin akan menghasilkan fenol melalui pemutusan ikatan karbon dengan karbon. Lignin lebih sulit untuk didehidrasi dibandingkan dengan selulosa dan hemiselulosa (Zhu dkk., 2013).

Menurut Marsh (2001), semakin lama waktu karbonisasi (tidak melebihi 3 jam) maka akan meningkatkan luas permukaan dan ukuran pori, begitu pula dengan semakin tingginya suhu karbonisasi dapat mengakibatkan peningkatan diameter pori yang semakin besar. Hal ini disebabkan akibat timbulnya kerusakan pada dinding pori yang berukuran kecil sehingga membentuk pori yang lebih besar. Sedangkan struktur pori karbon dari lignin pada suhu 200°C sudah mengalami kerusakan dinding pori. Hal ini menunjukkan bahwa selulosa sebagai struktur kerangka utama dalam karbon.

2.6 Aktivasi Karbon Aktif

Proses aktivasi termasuk ke dalam serangkaian proses dalam pembuatan karbon aktif yakni setelah karbonisasi. Secara umum, proses aktivasi diklasifikasikan menjadi dua jenis, yakni (Bandosz, 2006) :

1. Aktivasi *Thermal* (Aktivasi Fisika)

Umumnya proses aktivasi ini terdiri dari dua urutan tahapan, tahap yang pertama adalah karbonisasi termal bahan baku dimana terjadi devolatilisasi yang dilakukan pada suhu menengah ataupun tinggi untuk menghasilkan karbon yang kaya akan *char*. Sedangkan tahap yang kedua adalah aktivasi, dimana *char* yang tersisa di gasifikasi dengan agen pengoksidasi (umumnya *steam*) di dalam *fired furnace*. Jika kedua tahapan dilakukan secara bersamaan, maka prosesnya disebut *direct activation*.

2. Aktivasi menggunakan larutan asam fosfat

Proses aktivasi ini dilakukan dalam tahap karbonisasi tunggal. Pertama kali yang harus dilakukan adalah bahan baku direndam dengan sejumlah agen kimia (rasio reagen kimia dengan bahan baku adalah 1:4), kemudian dipanaskan. Setelah itu, produk harus di cuci untuk menghilangkan zat kimia berlebih setelah proses karbonisasi. Suhu operasi untuk pemanasan bergantung pada bahan kimia yang

digunakan. Bahan kimia yang paling umum digunakan adalah asam fosfat (H_3PO_4), ZnCl_2 dan hidroksida.

2.7 Mekanisme Aktivasi Karbon Aktif Menggunakan H_3PO_4

H_3PO_4 atau asam fosfat telah digunakan sebagai agen pengaktivasi bahan lignoselulosa seperti kayu dan produk samping pertanian seperti tempurung kelapa, sabut kelapa, serabut kelapa, tempurung almond dan zaitun serta bahan berkarbon dengan kandungan volatil tinggi. Luas permukaan pada karbon ini mencapai $1500 \text{ m}^2/\text{g}$ (Zhu dkk., 2013).

Senyawa H_3PO_4 sebagai agen pengaktivasi membantu mengembangkan porositas karbon aktif dengan cara dehidrasi dan degradasi. Di antara banyak agen dehidrasi yang digunakan untuk aktivasi menggunakan larutan asam fosfat, asam fosfat (H_3PO_4) tidak berbahaya pada lingkungan dan ekonomis. Sebelum proses aktivasi, struktur pori ditutupi oleh kotoran dan tar. Namun, pengotor berkurang setelah proses aktivasi, sehingga pori-pori terbuka. Dalam proses ini, H_3PO_4 memiliki dua fungsi penting yakni memulai dekomposisi pirolitik dari bahan awal dan mendorong pembentukan struktur cross-linked. Selain itu, H_3PO_4 memungkinkan untuk membentuk kedua pori yakni mikropori dan atau mesopori pada karbon aktif yang dihasilkan (Astuti dkk, 2016).

Asam fosfat H_3PO_4 mendorong hidrolisis asam biopolimer yang membentuk prekursor karbon selama impregnasi. Prekursor menjadi elastis dengan pemisahan serat selulosa yang dipacu oleh H_3PO_4 dan depolimerisasi parsial hemiselulosa dan lignin. Adapun mekanisme aktivasi karbon menggunakan H_3PO_4 yakni sebagai berikut (Zhu dkk., 2013).

Selama aktivasi berlangsung pada suhu rendah, terjadi percepatan penurunan massa dan perbesaran volume pada prekursor dikarenakan tereleminasinya produk volatil melalui reaksi depolimerisasi dan dehidrasi. Pada suhu tinggi, penurunan massa semakin lambat karena H_3PO_4 menghambat produk selulosa yang mudah menguap (G. Sedangkan pada suhu 400°C , prekursor mulai membesar, karena adanya reaksi silang antara rantai polimer dengan rantai ester yang menghubungkan H_3PO_4 dan gugus OH. Seiring dengan meningkatnya suhu, reaksi siklisasi dan kondensasi menyebabkan terjadinya peningkatan aromatisasi dan ukuran unit poliaromatik melalui pemutusan ikatan P-O-C. Setelah asam dihilangkan melalui proses pencucian, matriks yang tertinggal membesar karena adanya ikatan dengan polifosfat yang dihasilkan oleh zat pengaktif dimana akan membuat struktur pori mudah untuk dilewati (Zhu dkk., 2013).

Pada suhu diatas 450°C ukuran kelompok aromatis akan semakin meningkat. Hal ini menandakan proses pembentukan pori semakin meningkat dan menyebabkan *swelling* pada

struktur dan menyebabkan mikrofibril selulosa terpisah. Pada suhu tinggi, reaksi kristalisasi dan kondensasi akan membentuk ikatan fosfat dalam bentuk senyawa ester fosfat dan polifosfat yang saling terhubung dan berikatan silang dengan biopolimer. Selain itu, sebagian agen aktivator akan bertransformasi menjadi $H_4P_2O_7$ (Ncibi and Sarra, 2014).

Menurut Mukherjee and Gupta (2000), selama proses aktivasi sebagian karbon akan dioksidasi oleh asam fosfat membentuk gas fosfor dan hidrida yang nantinya akan terkondensasi kembali setelah proses oksidasi selesai. Selain itu, asam fosfat berfungsi untuk menahan karbon yang dihasilkan proses agar tidak terbawa oleh senyawa volatil lainnya.

Rasio asam dengan prekursor yang sering digunakan dalam aktivasi bahan lignoselulosa yakni 1.5 g H_3PO_4 /g prekursor, yang mana mampu menghasilkan karbon aktif dengan struktur mikropori dan mesopori yang lebar (Zhu dkk., 2013).

2.8 Analisa Fourier Transform Infrared (FTIR) Karbon Aktif

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FT-IR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan (Bozianis, 2014). Pada instrumen, spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisi cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Adapun proses instrumental normal dari Fourier Transform Infrared yakni sebagai berikut (Mishra dkk, 2017):

1. Sumber

Energi infra merah dipancarkan dari pijaran *black body* (sumber benda hitam). Sinar akan melewati celah yang mengontrol jumlah energi yang disampaikan untuk sampel (dan akhirnya untuk detektor).

2. Interferometer

Sinar memasuki interferometer dimana “spectral encoding” terjadi. Sinyal *interferogram* yang dihasilkan kemudian keluar dari interferometer

3. Tempat Sampel

Sinar memasuki ruang sampel dimana ditransmisikan melalui atau terpantul dari permukaan sampel, tergantung pada jenis analisis yang dicapai. Di sinilah frekuensi energi tertentu dengan karakter khusus dari sampel kemudian diserap.

4. Detektor

Pada akhirnya sinar lolos menuju detektor untuk pengukuran akhir. Detektor yang digunakan secara khusus dirancang untuk mengukur sinyal *interferogram* khusus.

5. Kisi – kisi refleksi

Bagian ini dibuat dari berbagai plastic. Jarak alur atau antar kisi lebih besar (misal 120 alur/mm) untuk mengurangi efek overlapping dan stray radiasi, dimana sebelumnya digunakan *filter* dan prisma untuk mengatasi. Dua atau lebih kisi sering digunakan dengan beberapa *filter* untuk mendeteksi area yang luas.

6. Cermin

Cermin digunakan untuk memfokuskan dan menahan radiasi IR. Terbuat dari Pyrex atau material lain dengan koefisien ekspansi termal yang rendah. Permukaan depan dilapisi dengan vakum yang mendepositkan film tipis logam Al, Ag atau Au.

7. Windows

Windows digunakan untuk sel – sel sampel dan mengisolasi berbagai kompartemen dari lingkungan.

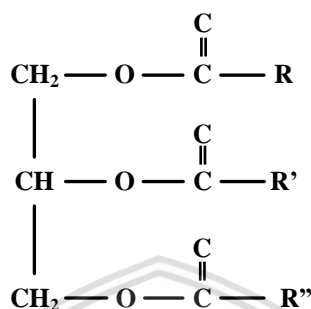
8. Komputer

Sinyal yang diukur didigitalkan dan dikirim menuju computer dimana transformasi fourier terjadi. Spektrum inframerah terakhir ini kemudian dipresentasikan kepada pengguna untuk interpretasi dan setiap manipulasi lebih lanjut.

Analisa FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi suatu sampel. Prinsip kerjanya adalah energi yang dikeluarkan dari sumbernya (*special coated heating element*) akan melewati bagian interferometer sebelum melewati bagian contoh dan lanjutkan ke detektor, komputer serta bagian pembacaan. Sumber radiasi di dalam inferometer akan dibagi dua oleh *beam splitter* menuju ke arah cermin diam dan cermin bergerak. Kedua cahaya tersebut kemudian digabungkan kembali oleh *beam splitter*. Gelombang dari cahaya – cahaya tersebut akan saling mempengaruhi satu deengan lainnya sehingga memperlihatkan variasi – variasi intensitas sesuai dengan pergerakan cermin (Bozaris, 2014). Sampel karbon aktif dengan ukuran -60 +80 mesh di campurkan dengan bubuk KBr hingga merata. Campuran tersebut kemudian ditempatkan dalam cetakan dan ditekan sampai 7-8 ton dengan menggunakan alat tekanan mekanik. Tekanan ini dipertahankan beberapa menit, kemudian sampel yang sudah jadi (*pellet* KBr yang terbentuk) diambil dan ditempatkan pada tempat sampel atau *sample pan*, selanjutnya siap untuk dianalisis (Mishra dkk, 2017).

2.9 Minyak Goreng Bekas

Lemak dan minyak adalah nama untuk senyawa dalam kelompok yang sama, yakni trigliserida yang mengandung tiga gugus ester dimana R, R' dan R'' mewakili rantai hidrokarbon yang panjang. Perbedaan minyak dan lemak dapat dilihat dari wujudnya yakni minyak berwujud cair sedangkan lemak berwujud padat (Chang, 2012).



Gambar 2.3. Rantai trigliserida minyak atau lemak

Sumber; Chang (2012)

Minyak goreng adalah minyak yang telah mengalami proses pemurnian yang meliputi *degumming*, netralisasi, pemucatan dan deodorisasi. Secara umum komponen utama minyak yang sangat menentukan mutu minyak adalah asam lemak, karena asam lemak menentukan sifat kimia dan stabilitas minyak. Setiap minyak goreng tidak boleh berbau dan sebaiknya beraroma netral. Warna minyak merah *orange* atau kuning biasanya dapat disebabkan adanya pigmen *karetonoid* yang larut dalam minyak tersebut. Minyak goreng yang dihasilkan dari bahan berbeda mempunyai stabilitas yang berbeda pula karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain derajat ketidakjenuhan asam lemak yang dikandungnya, penyebaran ikatan rangkap dan bahan – bahan pembantu yang dapat mempercepat atau menghambat proses kerusakan pada minyak goreng (Ayustaningawarno, 2012).

Karakteristik fisik dan stabilitas minyak goreng selama proses penggorengan dipengaruhi oleh komponen major (utama) dan komponen minor (pendukung) yang terkandung didalamnya. Komponen utama dalam minyak goreng yaitu trigliserida (memiliki tiga unit asam lemak yang terikat dalam satu molekul gliserol) dengan persentase sekitar 94-96%. Sedangkan komponen minor minyak goreng terdiri dari mono- dan digliserida, air asam lemak bebas, fosfatida, sterol, pigmen, tokoferol, *waxes* dan *fatty alcohol* dengan persentase sekitar 4-6% (Strayer, 2006). Selain itu kestabilan minyak juga dipengaruhi oleh derajat ketidakjenuhan asam lemak, penyebaran ikatan rangkap serta bahan-bahan yang dapat mempercepat atau memperlambat proses kerusakan minyak (Stier, 2003).

Minyak goreng bekas atau minyak jelantah adalah minyak yang dihasilkan dari sisa penggorengan, baik dari minyak kelapa maupun minyak sawit. Minyak jelantah dapat menyebabkan minyak berasap atau berbusa pada saat penggorengan, meninggalkan warna cokelat serta rasa yang tidak disukai dari makanan yang digoreng. Dengan meningkatnya produksi dan konsumsi minyak goreng, ketersediaan minyak jelantah kian melimpah. Sampai saat ini minyak goreng bekas belum dimanfaatkan dengan baik dan hanya dibuang sebagai limbah. Oleh karena itu, pemanfaatan minyak goreng bekas sebagai bahan baku biodiesel akan memberikan nilai tambah bagi minyak goreng bekas (Hendroko dkk, 2007).

Minyak goreng yang sudah digunakan hingga wujudnya mengental seperti oli tidak baik untuk dikonsumsi, baik sudah digunakan 3 kali penggorengan maupun 1 kali penggorengan. Minyak goreng bekas yang mengental menandakan semakin banyak lemak trans yang terkandung di dalamnya, karena rusaknya lemak akibat pemanasan berlebihan dan dalam waktu yang lama. Proses pemanasan selama minyak digunakan merubah sifat fisika-kimia minyak. Pemanasan minyak dapat mempercepat hidrolisis trigliserida dan meningkatkan kandungan asam lemak bebas (FFA) di dalam minyak. Kandungan FFA dan air di dalam minyak bekas berdampak negatif terhadap reaksi transesterifikasi. Hal ini dikarenakan metil ester dan gliserol menjadi sulit untuk dipisahkan. Minyak goreng bekas lebih kental dibandingkan dengan minyak goreng baru, hal ini disebabkan oleh pembentukan dimer dan polimer asam dan gliserid di dalam minyak goreng bekas karena pemanasan sewaktu digunakan. Berat molekul dan angka iodin menurun sementara berat jenis dan angka penyabunan semakin tinggi (Apriadi, 2008).

Minyak goreng bekas dapat digunakan kembali apabila sudah melalui proses pemurnian minyak yang bertujuan untuk menghilangkan rasa dan bau yang tidak enak, warna yang tidak menarik, serta memperpanjang masa simpan minyak sebelum dikonsumsi atau digunakan sebagai bahan mentah dalam industri. Kotoran-kotoran yang ada dalam minyak terdiri dari 3 golongan yakni (Herwanda, 2011):

1. komponen yang tidak larut dalam minyak, seperti lendir, getah, abu, dan mineral;
2. komponen dalam bentuk suspensi koloid; dan
3. komponen yang larut dalam minyak, seperti asam lemak bebas (FFA), sterol, hidrokarbon, monogliserida, digliserida, dan zat warna yang terdiri dari karotenoid dan klorofil.

Adapun standar mutu dari minyak goreng ditentukan melalui SNI 01-3741-2013 yang mana ditunjukkan melalui tabel berikut (SNI, 2013).

Tabel 2.2. Standar mutu minyak goreng

No.	Parameter	Persyaratan
1	Kadar Air	Maks. 0,15%
2	Kadar FFA	Maks. 0,3%

Sumber; Badan Standar Nasional (2013)

2.9.1 Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*) pada Minyak

Asam lemak bebas (*free fatty acid*) merupakan senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis senyawa lemak atau trigliserida oleh molekul air. Pada proses hidrolisis senyawa trigliserida ini juga dihasilkan senyawa gliserol (Nielsen, 2009). Selain proses hidrolisis, minyak juga dapat mengalami proses oksidasi, yaitu ketika oksigen berkontak dengan lemak dalam minyak. Proses ini dapat menghasilkan peroksida dan hidroperoksida. Asam lemak dan hidroperoksida ini akan terurai menjadi aldehid, keton dan asam-asam organik lainnya. Senyawa-senyawa tersebut dapat menghasilkan bau dan rasa tengik (Chow, 2000).

Selain itu, asam lemak bebas dapat menginisiasi reaksi lain dalam makanan. Misalnya asam lemak bebas dapat menghidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, dimana senyawa tersebut dapat membentuk suatu senyawa yang menyebabkan warna makanan menjadi kecoklatan, berbau tidak sedap, menghilangkan nutrisi dan gugus penting dalam makanan. Selain itu asam lemak bebas dapat membentuk polimer-polimer, bereaksi dengan protein dan asam amino, serta bereaksi dengan karbohidrat sehingga memiliki dampak negatif bagi kesehatan (Chow, 2000).

Kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*) pada minyak goreng dapat ditentukan dengan menggunakan rumus yang mengacu pada SNI 01-3741-2013 dengan metode titrasi. Dengan melakukan penambahan ethanol netral 95%, penambahan indikator PP, dan titrasi menggunakan larutan NaOH, maka kadar FFA dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kadar Asam Lemak Bebas (\%)} = \frac{Mr \times V \times N}{10 \times m} \times 100\% \quad (2-1)$$

Keterangan :

Mr = Berat molekul Asam Palmitat (265,42 g/mol)

V = Volume larutan NaOH yang digunakan saat titrasi (mL)

N = Normalitas larutan NaOH yang digunakan saat titrasi (N)

m = Massa minyak sampel (gram)

2.9.2 Kadar Air pada Minyak

Kadar air dalam minyak dapat menentukan kualitas minyak. Kadar air dapat menginisiasi terjadinya hidrolisis trigliserida dalam minyak. Kadar air yang tinggi dapat menurunkan kualitas dari minyak, sehingga kadar air harus diturunkan hingga batas paling rendah (Chow, 2000).

Kadar air dalam minyak dapat ditentukan berdasarkan massa yang hilang dengan menggunakan metode pemanasan dalam oven pada suhu $130 \pm 1^\circ\text{C}$ selama 1 jam. Perhitungan kadar air dalam minyak mengacu pada SNI 01-3741-2013 dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100\% \quad (2-2)$$

Keterangan:

m_1 = Massa minyak sebelum pemanasan (gram)

m_2 = Massa minyak setelah pemanasan (gram)

2.10 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses terjadinya perpindahan massa suatu komponen dari fasa gerak (fluida pembawa adsorbat) ke permukaan adsorben yang disebabkan karena adanya gaya tarik menarik antara molekul adsorbat dengan sisi aktif pada permukaan adsorben. Ketika campuran zat cair dikontakkan dengan padatan mikropori, maka akan terjadi proses adsorpsi komponen tertentu pada permukaan pori padatan tersebut. Padatan yang digunakan untuk mengadsorpsi suatu komponen dan bersifat tidak larut dalam zat cair disebut sebagai adsorben. Komponen yang diadsorpsi disebut adsorbat. Terdapat beberapa tahapan dasar dalam proses adsorpsi karbon aktif, yaitu zat adsorbat akan berdifusi secara eksternal dari fasa gerak atau larutan *bulk* menuju daerah sekitar karbon aktif, zat adsorbat menempel pada permukaan luar karbon aktif, zat adsorbat berdifusi secara internal menuju pori-pori karbon aktif, dan zat adsorbat menempel pada permukaan dalam pori-pori karbon aktif (Seader dan Ernest, 2006). Apabila kapasitas adsorpsi masih sangat besar, sebagian besar adsorbat akan teradsorpsi dan terikat pada permukaan, namun ketika permukaan karbon aktif sudah jenuh atau mendekati jenuh, dapat terjadi dua hal yaitu (Villacarias, 2005) :

1. Dapat terbentuk beberapa lapisan adsorpsi di atas adsorbat yang telah terikat di permukaan (adsorpsi multilayer); dan

2. Adsorbat yang belum teradsorpsi pada permukaan karbon aktif berdifusi keluar pori dan kembali ke arus fluida.

Terdapat dua jenis adsorpsi berdasarkan gaya ikatan yang terjadi antara adsorben dan adsorbat, yaitu adsorpsi secara fisik (fisisorpsi) dan adsorpsi secara kimia (kimisorpsi). Kedua jenis adsorpsi ini terjadi ketika ada gaya tarik-menarik antara molekul-molekul dalam fase cair (adsorbat) dengan permukaan suatu fase padat (adsorben). Fisisorpsi merupakan jenis adsorpsi yang terjadi ketika gaya ikatan antara adsorbat dengan permukaan adsorben merupakan gaya van der Waals, reaksinya bersifat dapat balik (*reversible*), dapat berupa *monolayer* maupun *multilayer*, dan tidak ada transfer elektron. Sedangkan apabila gaya ikatannya merupakan interaksi kimiawi antara adsorbat dan permukaan adsorben, artinya terjadi rekonfigurasi dan terdapat transfer elektron antara adsorbat dan permukaan adsorben, *monolayer*, dan reaksinya tidak dapat balik (*irreversible*), maka tergolong ke dalam kemisorpsi (Seader dan Ernest, 2006).

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi antara lain (Seader dan Ernest, 2006):

1. Luas Permukaan Total dan Struktur Pori Adsorben;
2. Ukuran Partikel Adsorbat dan Adsorben;
3. Gugus Fungsi pada Permukaan Adsorben;
4. Karakteristik Adsorbat dan Adsorben; dan
5. Efek Temperatur.

2.11 Kesetimbangan Adsorpsi

Pada umumnya, proses adsorpsi diinvestigasi secara *batch*, dimana konsentrasi fluida di dalam kolom dianggap seragam pada semua bagian dan tidak ada aliran masuk dan keluar dari kolom adsorpsi. Pada adsorpsi *reversible*, akan terjadi proses akumulasi molekul secara terus-menerus pada bagian permukaan hingga mencapai kesetimbangan dimana laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi. Ketika mencapai kondisi kesetimbangan, maka adsorben akan bersifat jenuh terhadap adsorbat dan tidak akan terjadi proses adsorpsi lebih lanjut (Chowdhury dkk., 2013).

2.11.1 Adsorpsi Isotermis

Adsorpsi isotermis menunjukkan distribusi dari komponen atau spesi yang akan diadsorpsi antara fasa adsorbat dan fasa larutan saat kesetimbangan pada suhu tertentu. Adsorpsi isotermis pada saat suhu T tertentu dapat dinyatakan dalam bentuk hubungan antara jumlah adsorbat yang terserap (q) dan konsentrasi saat kesetimbangan dalam larutan

(Ce) pada suhu tertentu (T) (Noll dkk., 2006). Jumlah dari komponen yang teradsorpsi akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi, namun tidak pada proporsi yang sebanding (Chowdhury dkk., 2013). Persamaan adsorpsi isoterms dapat dituliskan pada rumus berikut (Noll dkk., 2006):

$$q = X/m = K(Ce) \text{ pada } T \quad (2-3)$$

Keterangan :

$q = X/m$ = Jumlah adsorbat terserap oleh adsorben pada kondisi kesetimbangan

K = Konstanta isoterms

Ce = Konsentrasi saat kesetimbangan

2.11.2 Adsorpsi Freundlich

Adsorpsi isoterms *Freundlich* dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi dari adsorben untuk berbagai *range* konsentrasi, dimana adsorben yang diasumsikan sebagai permukaan yang heterogen (*multilayer*) yang setiap *layer* memiliki kemampuan adsorpsi. Pada adsorpsi isoterms *Freundlich*, tidak ada asosiasi atau disosiasi molekul setelah terserap pada permukaan adsorben dan tidak ada proses kemisorpsi. Adsorpsi yang terjadi hanya fisisorpsi, dimana tidak ada perubahan konfigurasi molekul dalam keadaan teradsorpsi. Jumlah molekul yang teradsorpsi akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi atau tekanan. Berikut merupakan rumus isoterms *Freundlich* yang sering digunakan pada aplikasi adsorpsi (Noll dkk., 2006) :

$$\frac{x}{m} = K (Ce)^{1/n} \quad (2-4)$$

Pengujian persamaan adsorpsi *Freundlich* isoterms dibuktikan melalui grafik yang telah dilinierisasikan dari persamaan adsorpsi *Freundlich* isoterms. Adapun persamaan adsorpsi *Freundlich* isoterms kemudian dilinierisasikan kedalam bentuk logaritma, sehingga menjadi Persamaan (4.2) :

$$\log \left(\frac{x}{m} \right) = \log k + \frac{1}{n} \log Ce \quad (2-5)$$

Keterangan :

Ce = Kadar asam lemak bebas dalam minyak goreng saat setimbang

x / m = Jumlah asam lemak bebas yang terserap per gram karbon (mg/gr)

k = Konstanta adsorpsi *Freundlich*

2.11.3 Adsorpsi *Langmuir*

Persamaan adsorpsi *Langmuir* merupakan salah satu pendekatan yang sering digunakan pada adsorpsi isothermis. Persamaan adsorpsi isothermis *Langmuir* tidak menghasilkan data seakurat persamaan *Freundlich*, tetapi dapat menunjukkan konsep yang jelas terkait adsorpsi monomolekuler pada permukaan homogen (*monolayer*). Persamaan ini dikembangkan untuk membahas tentang kemisorpsi. Adsorpsi yang terjadi berupa kemisorpsi, sehingga terdapat perubahan konfigurasi molekul dalam keadaan teradsorpsi. Berikut merupakan persamaan teoritis adsorpsi isothermis *Langmuir* (Noll dkk., 2006) :

$$X = \frac{X_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2-6)$$

Pengujian persamaan adsorpsi *Langmuir* isothermis dibuktikan melalui grafik yang telah dilinierisasikan dari persamaan *Langmuir* isotherm. Persamaan adsorpsi *Langmuir* isothermis kemudian dilinierisasikan kedalam bentuk pembagian, sehingga menjadi Persamaan (2.7) :

$$\frac{1}{X} = \frac{1 + b C_e}{X_m b C_e} \quad (2-7)$$

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_m b C_e} + \frac{b C_e}{X_m b C_e} \quad (2-8)$$

$$\frac{C_e}{X} = \frac{1}{X_m b} + \frac{C_e}{X_m} \quad (2-9)$$

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{X_m} + \left(\frac{1}{C_e} \right) \left(\frac{1}{b X_m} \right) \quad (2-10)$$

keterangan :

C_e = Kadar asam lemak bebas dalam minyak goreng saat setimbang

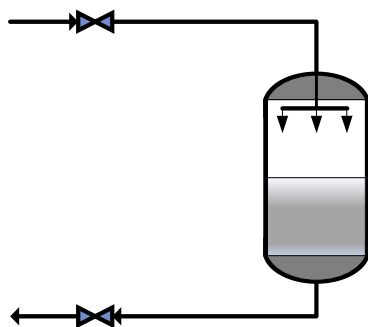
X = x / m , Jumlah asam lemak bebas yang terserap per gram karbon (mg/gr)

X_m = Jumlah adsorbat yang terserap tiap satuan berat adsorben yang dibutuhkan untuk kapasitas monolayer (mg/gram)

b = Konstanta *Langmuir*

2.12 Kolom Adsorpsi

Pada umumnya, kolom adsorpsi yang sering digunakan yaitu kolom tipe *vessel* dan berbentuk silinder. Pemilihan kolom adsorpsi bergantung pada ukuran sistem, konfigurasi sistem, karakteristik umpan masuk, dan desain khusus lainnya. Salah satu jenis kolom adsorpsi yang sering digunakan untuk adsorben berupa karbon aktif adalah *fixed-bed*, dimana karbon aktif diletakan dalam *vessel* dengan keadaan stasioner (diam). Berikut merupakan skema kolom jenis *fixed-bed* (Thomas dan Barry, 1998) :



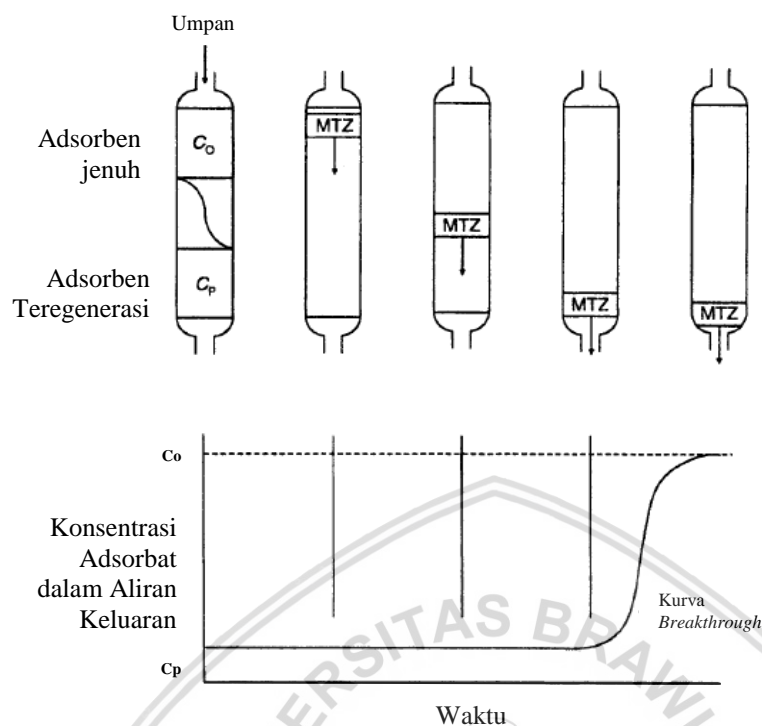
Gambar 2.4. Skema kolom adsorpsi *fixed-bed*
Sumber; Thomas dan Barry (1998)

Berdasarkan gambar 2.4., kolom adsorpsi *fixed-bed* memiliki bentuk silinder vertikal yang berisi sejumlah adsorben. Kolom tersebut terdiri dari dua aliran, yaitu aliran umpan yang masuk melalui bagian atas kolom dan aliran produk yang keluar dari bagian bawah kolom. Umpan yang masuk ke dalam kolom akan mengalir secara *downflow* dan berkontak dengan adsorben yang bebas adsorbat serta akan terjadi proses adsorpsi secara kontinyu di dalam kolom adsorpsi. *Bed* adsorben bagian atas akan berkontak terlebih dahulu dengan umpan yang mengandung adsorbat berkonsentrasi tinggi. Pada tahap ini adsorben akan efektif dalam menyerap adsorbat, sedangkan adsorbat yang lolos akan terserap pada *bed* selanjutnya (Thomas dan Barry, 1998).

Pada proses adsorpsi, baik pada sistem *fixed bed* maupun *batch*, transfer massa *bulk* terjadi secara turbulen menuju adsorben. Setelah itu, zat adsorbat akan berdifusi secara eksternal dari fasa gerak atau larutan *bulk* menuju *boundary layer* karbon aktif. Kemudian zat adsorbat menempel pada permukaan luar karbon aktif. Selanjutnya zat adsorbat berdifusi secara internal menuju pori-pori karbon aktif. Lalu zat adsorbat menempel pada permukaan dalam pori-pori karbon aktif dan akan terbentuk ikatan antara adsorbat dengan permukaan aktif adsorben (Seader dan Ernest, 2006). Proses tersebut sangat cepat untuk kasus adsorpsi secara fisika. Transfer *bulk* larutan menuju *film* adsorben, transfer difusi *film*, dan difusi pori digunakan sebagai pengontrol dari daya atau kemampuan adsorpsi dari adsorben (Thomas dan Barry, 1998).

2.12.1 Kurva Adsorpsi (*Breakthrough*)

Kurva *breakthrough* merupakan garis yang menunjukkan konsentrasi keluaran (*output*) sebagai fungsi waktu dengan skema kurva breakthrough sebagai berikut (Thomas dan Barry, 1998).



Gambar 2.5. Skema *breakthrough* adsorpsi pada kolom *fixed-bed*
Sumber; Thomas dan Barry (1998)

Gambar 2.5. menunjukkan bahwa ketika umpan masuk ke dalam kolom dan melewati adsorben, transfer massa adsorbat dari umpan pada permukaan adsorben awalnya hanya terjadi pada daerah masukan dari *bed*. Ketika adsorben telah menjadi jenuh terhadap adsorbat, daerah tempat terjadinya transfer massa berpindah menuju daerah keluaran dari *bed*. Gambar 2.5. menunjukkan fungsi tahapan ideal, dimana konsentrasi akhir atau keluaran bernilai C_p hingga tercapainya adsorpsi adsorbat dan keadaan bagian bawah *bed* padatan jenuh, kemudian setelah itu secara instan naik hingga nilainya sama dengan konsentrasi awal C_o (Thomas dan Barry, 1998).

Selain itu, gambar 2.5. juga menunjukkan skema pergerakan zona kejenuhan adsorben pada kolom adsorpsi *fixed-bed* yang dihubungkan dengan kurva *breakthrough* adsorpsi (Thomas dan Barry, 1998).

Studi sistem kolom dilakukan berdasarkan kurva *breakthrough* dan bentuk kurva yang ditentukan oleh kesetimbangan isoterm dan proses transpor pada kolom dan adsorben. Kurva *breakthrough* digambarkan dengan profil antara rasio konsentrasi adsorbat dalam aliran keluaran terhadap konsentrasi adsorbat dalam aliran umpan (C/C_o) dan waktu adsorpsi.

Parameter lain yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kurva *breakthrough* pada proses adsorpsi yaitu efisiensi pemisahan. Efisiensi pemisahan merupakan persentase

penurunan adsorbat sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Persamaan efisiensi pemisahan yaitu (Thomas dan Barry, 1998).

$$\text{Efisiensi Pemisahan (\%)} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\% \quad (2-11)$$

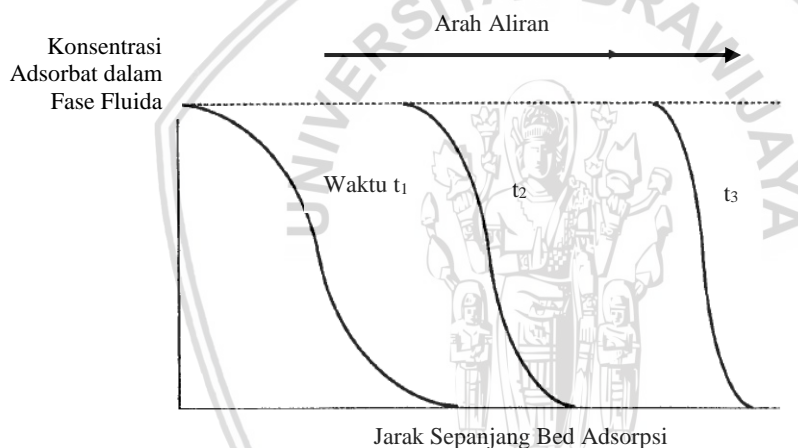
Keterangan:

C_i = konsentrasi adsorbat sebelum proses adsorpsi

C_f = konsentrasi adsorbat setelah proses adsorpsi

2.12.2 Zona Transfer Massa

Proses adsorpsi yang berlangsung dalam kolom adsorpsi *fixed bed* berlangsung pada kondisi *unsteady state*. Hal ini berarti pada beberapa titik tertentu dalam kolom adsorpsi, proses adsorpsi bervariasi terhadap waktu. Adsorpsi yang hanya terjadi pada daerah tertentu dari *bed* dikenal sebagai *zona* atau daerah transfer massa yang diilustrasikan pada gambar berikut (Thomas dan Barry, 1998) :

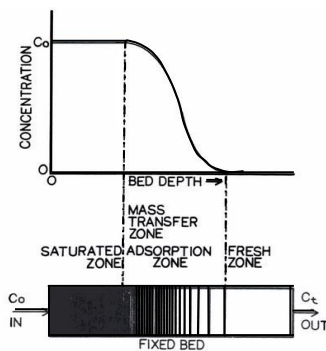


Gambar 2.6. Skema zona transfer massa (MTZ)

Sumber; Thomas dan Barry (1998)

Gambar 2.6. menunjukkan tentang pengaruh panjang *bed* atau kolom terhadap konsentrasi adsorbat dalam fase fluida awal hingga konsentrasi adsorbat akhir yang lebih rendah. Pada kondisi yang konstan, panjang zona transfer massa akan menjadi konstan seiring dengan pergerakan adsorpsi adsorbat melewati kolom. Panjang zona transfer massa ini menjadi indikator dalam penentuan laju transfer massa pada kolom. Laju transfer massa yang tinggi akan menghasilkan panjang zona yang kecil, sebaliknya laju transfer massa yang rendah akan menghasilkan panjang zona yang besar (Thomas dan Barry, 1998).

Zona transfer massa dapat dibagi menjadi 3 zona yang ditunjukkan pada gambar berikut (Kenneth dkk., 1991) :



Gambar 2.7. Skema bagian zona transfer massa
Sumber; Kenneth dkk. (1991)

2.13 Spektrofotometri UV-Vis

Alat spektrofotometri UV-Vis merupakan alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi suatu spesi yang terdapat dalam larutan tertentu. Penentuan konsentrasi didasarkan pada jumlah intensitas cahaya yang terserap ketika cahaya melewati sampel larutan. Proses analisisnya dilakukan dengan cara meletakkan sampel uji pada wadah kuvet dan kemudian kuvet diletakkan pada *cell holder* UV-Vis. Jumlah radiasi cahaya yang melewati sampel diukur relatif terhadap sampel referensi. Jumlah relatif cahaya yang melewati sampel digunakan untuk memprediksi konsentrasi analit.

Panjang gelombang yang digunakan pada proses analisis berbeda-beda tergantung dari warna sampel. Berikut merupakan tabel data panjang gelombang UV-Vis sesuai warna sampel. Warna merupakan cahaya tampak yang mengandung satu senyawa, sedangkan komplementer merupakan warna campuran yang timbul akibat kandungan yang berbeda-beda. Pada penelitian ini digunakan jenis komplementer (Nielsen, 2009).

Tabel 2.3. Spektrum radiasi UV-Vis

No	Panjang Gelombang (nm)	Warna	Komplementer
1	<380	Ultraviolet	
2	380-420	Violet	Kuning-Hijau
3	420-440	Violet-Biru	Kuning
4	440-470	Biru	Orange
5	470-500	Biru-Hijau	Merah
6	500-520	Hijau	Ungu
7	520-550	Kuning-Hijau	Violet
8	550-580	Kuning	Violet-Biru
9	580-620	Orange	Biru
10	620-680	Merah	Biru-Hijau
11	680-780	Ungu	Hijau
12	>780	Inframerah	

Sumber; Nielsen (2009)

2.14 *Material Safety Data Sheet* Bahan yang Digunakan

Asam Fosfat (H_3PO_4) 10% dapat menyebabkan iritasi berat jika kontak dengan kulit dan mata manusia serta dapat mengganggu sistem pernafasan dan pencernaan manusia. Asam fosfat berbentuk cairan yang tidak berbau dan berasa, bersifat asam lemah, berwarna bening, memiliki titik didih 158°C , titik leleh 21°C , larut dalam air dingin maupun air panas serta memiliki nilai *specific gravity* sebesar 1,052 (ScienceLab, 2013).

Karbon Aktif dapat menyebabkan iritasi ringan jika kontak dengan kulit dan mata manusia serta juga dapat menyebabkan iritasi ringan jika kontak dengan sistem pernafasan dan pencernaan manusia. Karbon aktif berbentuk serbuk padatan berwarna hitam, tidak berbau, dan tidak larut dalam air. Karbon aktif memiliki nilai pH sebesar 5-10, titik leleh sebesar 3550°C (6422°F), densitas uap sebesar 0,4, serta *specific gravity* sebesar 1,8-2,1, (Parchem, 2009).

Natrium Hidroksida (NaOH) dapat menyebabkan iritasi berat jika kontak dengan kulit dan mata manusia serta dapat mengganggu sistem pernafasan dan pencernaan manusia. NaOH berbentuk cairan, berwarna bening, tidak berbau, dan bersifat basa kuat. NaOH memiliki sifat yang mudah larut dalam air dingin dan air panas serta memiliki nilai *specific gravity* sebesar 1,04 (ScienceLab, 2013).

Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N dapat menyebabkan iritasi ringan jika kontak dengan kulit dan mata manusia serta dapat mengganggu sistem pernafasan dan pencernaan manusia. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ berbentuk cairan, berwarna bening, dan tidak berbau. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ memiliki sifat yang mudah larut dalam air dingin maupun air panas, tetapi tidak larut dalam aseton dan memiliki nilai *specific gravity* sebesar 1,01 (ScienceLab, 2013).

2.15 Penelitian Sebelumnya

Mohanty dkk. (2005) melakukan penelitian tentang sintesis karbon aktif dari *Terminalia arjuna*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap hasil dan mutu arang aktif yang dihasilkan serta kemampuan adsorpsinya. Proses sintesis karbon aktif dilakukan dengan menggunakan proses karbonisasi di dalam tanur dengan variasi suhu karbonisasi 300°C, 400°C, 500°C, dan 600°C serta variasi waktu karbonisasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Karbon diaktivasi secara kimia menggunakan ZnCl_2 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk membuat karbon aktif dengan kualitas terbaik yaitu pada suhu karbonisasi 500°C selama 1 jam. Pada kondisi ini dihasilkan karbon aktif dengan % rendemen karbon aktif sebesar 52% dan luas permukaan BET sebesar 1260 m²/g.

Putro dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari limbah jerami. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap hasil dan mutu arang aktif yang dihasilkan serta kemampuan adsorpsinya. Proses sintesis karbon aktif dilakukan dengan menggunakan proses karbonisasi di dalam tanur dengan variasi suhu karbonisasi 450°C, 550°C, dan 650°C serta variasi waktu karbonisasi 1 jam, 1,5 jam, dan 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk membuat karbon aktif dengan kualitas terbaik yaitu pada suhu karbonisasi 650°C selama 2 jam. Pada kondisi ini dihasilkan karbon aktif dengan kadar air, kadar abu, kadar karbon, dan zat volatil secara berurutan yaitu 0,132%, 52,19%, 43,35%, dan 4,32%.

Lee dkk. (2017) melakukan penelitian tentang pembuatan karbon aktif dari tempurung kelapa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu karbonisasi terhadap hasil dan mutu arang aktif yang dihasilkan serta kemampuan adsorpsinya. Proses sintesis karbon aktif dilakukan dengan menggunakan proses karbonisasi di dalam tanur dengan variasi suhu karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, dan 700°C serta variasi waktu karbonisasi 30 menit, 45 menit, 60 menit, 75 menit, dan 90 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk membuat karbon aktif dengan kualitas terbaik yaitu pada suhu karbonisasi 700°C selama 75 menit. Pada kondisi ini dihasilkan karbon aktif

dengan % rendemen, kadar abu, kadar karbon, dan zat volatil secara berurutan yaitu 20,953%, 35,444%, 48,443%, dan 16,106%. Selain itu, pada kondisi ini, karbon aktif yang dihasilkan memiliki daya serap terhadap iodin sebesar 348,744 mg/g, luas permukaan BET sebesar 132,7578 m²/g, volume pori sebesar 0,2429 m³/g, dan ukuran pori sebesar 7,3175 nm.

Pakpahan (2013) telah melakukan penelitian tentang pengurangan kadar FFA dan warna dari minyak goreng bekas dengan menggunakan adsorben dari serabut kelapa dan jerami. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi kadar FFA dan warna dari minyak jelantah dengan variasi ukuran adsorben 50 mesh, 70 mesh, dan 100 mesh pada tekanan dibawah 1 atm dan waktu adsorpsi setiap 10 menit selama 1,5 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum untuk menurunkan kadar asam lemak bebas (FFA) adalah adsorbendari serabut kelapa pada tekanan dibawah 1 atm dengan ukuran 50 mesh. Kondisi ini mampu menurunkan kadar FFA dari 6,823% sebelum diadsorpsi menjadi 0,292% setelah diadsorpsi. Sedangkan untuk pengurangan warna, adsorben jerami padi dengan ukuran 100 mesh lebih efektif dibandingkan serabut kelapa karena mampu mengurangi warna merah dari 5,5 menjadi 3,3 dan kuning dari 24 menjadi 21.

Muharyanto dan Pahleva (2017) melakukan penelitian tentang pemurnian minyak goreng bekas secara kontinyu dengan metode adsorpsi di dalam kolom adsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju alir umpan kolom terhadap hasil dan mutu minyak goreng hasil pemurnian. Proses sintesis karbon aktif dilakukan dengan menggunakan proses karbonisasi di dalam tanur dengan suhu karbonisasi 600°C selama 1 jam. Karbon diaktivasi secara kimia menggunakan H₃PO₄ 10%. Pemurnian minyak goreng bekas dengan karbon aktif dilakukan dengan menggunakan variabel laju alir umpan kolom yaitu 3 ml/menit, 5 ml/menit, dan 7 ml/menit. Massa karbon aktif yang digunakan ditentukan dengan menggunakan kesetimbangan adsorpsi secara *batch*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum dalam pemurnian minyak goreng bekas secara kontinyu yaitu dengan menggunakan laju alir umpan kolom sebesar 3 ml/menit. Kondisi ini berhasil mengurangi kadar FFA dari 3,83% menjadi 0,295%, bilangan peroksida dari 3,33 meq/kg menjadi 1,11 meq/kg, kadar air dari 3,334% menjadi 0,2%, serta bilangan asam dari 0,23% menjadi 0,044%.



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental secara kualitatif dan kuantitatif berdasarkan variabel yang telah ditentukan untuk mengetahui hasil yang diperoleh yakni berupa data empiris.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari Bulan Desember 2017 hingga Bulan Maret 2018 di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Pengujian kualitas karbon aktif, minyak goreng bekas, dan minyak goreng hasil proses adsorpsi juga dilakukan di Laboratorium Operasi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia FT-UB. Sedangkan analisis FT-IR karbon aktif dilakukan di Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Malang.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini meliputi variabel tetap, variabel bebas, dan variabel terikat, yaitu sebagai berikut.

3.2.1 Variabel Tetap

Variabel tetap merupakan variabel yang nilainya telah ditetapkan dan tidak berubah pada setiap percobaan. Variabel tetap pada penelitian ini adalah:

1. Minyak goreng bekas yang digunakan dalam penelitian memiliki rentang kadar FFA 3-4%;
2. Serabut kelapa diperoleh dari CV Sumber Sari, Jember;
3. Ukuran karbon aktif yang digunakan adalah -60 +80 mesh (0,224 mm);
4. Suhu adsorpsi yang digunakan adalah suhu ruang;
5. Tekanan adsorpsi yang digunakan adalah tekanan atmosferik;
6. Laju alir umpan minyak goreng yaitu 3 ml/menit;
7. Proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dilakukan dengan menggunakan tiga sampel karbon aktif, yaitu karbon aktif dengan kondisi operasi karbonisasi 550°C selama 70 menit, 600°C selama 60 menit, serta 600°C selama 70 menit;

3.2.2 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang nilainya tidak bergantung pada variabel lain dan nilainya bervariasi untuk setiap percobaan. Variabel bebas pada penelitian ini adalah suhu dan waktu karbonisasi. Variabel suhu karbonisasi yang digunakan yaitu 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, dan 600°C dalam waktu 60 menit, 70 menit, dan 80 menit.

3.2.3 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya bergantung pada variabel lain. Variabel terikat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kadar Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*) Minyak Goreng;
2. Kadar Air Minyak Goreng; dan
3. Karakteristik Karbon Aktif (Kadar Air, Kadar Abu, Gugus Fungsi, dan Daya Serap Metilen Biru).

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

3.3.1.1 Alat Utama

Alat utama yang digunakan pada penelitian pembuatan karbon aktif dan pemisahan FFA pada minyak goreng bekas antara lain:

1. Tanur '*Carbolite*';
2. Reaktor Karbonisasi (p:16cm, l:12cm, t:15cm);
3. Kolom Adsorpsi (ID:2,5cm, t:60cm);
4. Neraca Analitik;
5. Tangki Penyimpanan Minyak Goreng Bekas;
6. *Valve*;
7. Selang;
8. Oven;
9. *Tray Dryer*;
10. Desikator;
11. Ayakan (ukuran 50, 60, 80, dan 100 mesh);
12. *Sieve Shaker*; dan
13. Statif dan Klem *Holder*.

3.3.1.2 Alat Pendukung

Alat pendukung yang digunakan pada penelitian pembuatan karbon aktif dan pemisahan FFA pada minyak goreng bekas antara lain:

1. Gelas Ukur;
2. Labu Ukur;
3. Erlenmeyer;
4. *Beaker Glass*;
5. Buret;
6. Pipet Tetes;
7. Pipet Volume;
8. Pipet Ukur;
9. Kaca Arloji;
10. Spatula;
11. *Shaker*;
12. Corong Kaca;
13. Lemari Asam;
14. *Rubber Bulb*; dan
15. Botol Semprot.

3.3.2 Bahan Penelitian

3.3.2.1 Bahan Utama

Bahan baku utama yang digunakan pada penelitian pembuatan karbon aktif dan pemisahan FFA pada minyak goreng bekas adalah :

1. Serabut Kelapa; dan
2. Minyak Goreng Bekas.

3.3.2.2 Bahan Pelengkap

Bahan pelengkap yang digunakan dalam penelitian pembuatan karbon aktif dan pemisahan FFA pada minyak goreng bekas adalah:

1. Aquades;
2. H_3PO_4 85% (*Pro Analysis*) dari Merck;
3. NaOH Kristal (*Pro Analysis*) dari Sigma Aldrich;
4. Indikator PP;
5. Metilen Biru; dan
6. Ethanol 96%.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas dengan karbon aktif dari serabut kelapa secara kontinyu menggunakan kolom adsorpsi adalah sebagai berikut.

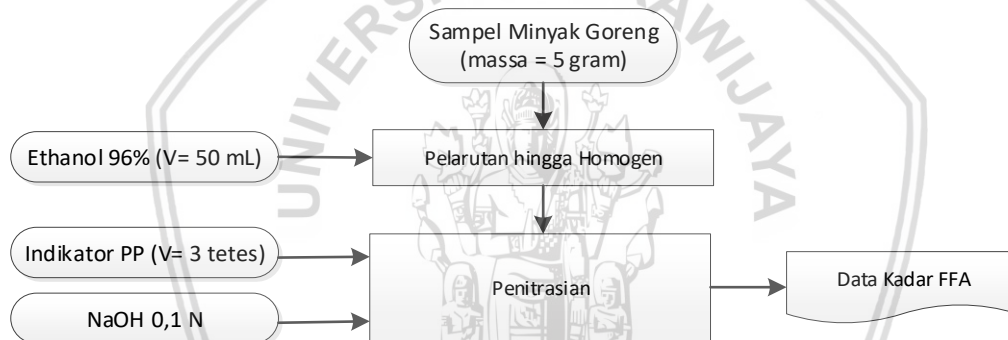
3.4.1 Uji Kriteria Awal Minyak Goreng Bekas

Pada prosedur ini dilakukan karakterisasi awal minyak goreng bekas dengan cara menguji beberapa parameter berdasarkan SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng, yaitu kadar air dan kadar FFA. Berikut prosedur dalam pengujian parameter berdasarkan SNI.

3.4.1.1 Pengujian Kadar Asam Lemak Bebas (*Free Fatty Acid*)

Metode yang digunakan untuk pengujian kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*) yaitu metode titrasi yang mengacu pada SNI 01-3741-2013. Sampel minyak goreng bekas sebanyak 5 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 ml. Kemudian 50 ml etanol 96% ditambahkan hingga homogen. Lalu indikator phenolphthalein (PP) diteteskan sebanyak 3 tetes. Selanjutnya dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,1 N hingga terbentuk warna merah muda yang stabil atau tidak mengalami perubahan selama 15 detik. Volume NaOH yang digunakan dalam proses titrasi tersebut dicatat.

Berikut diagram alir pengujian kadar asam lemak bebas.

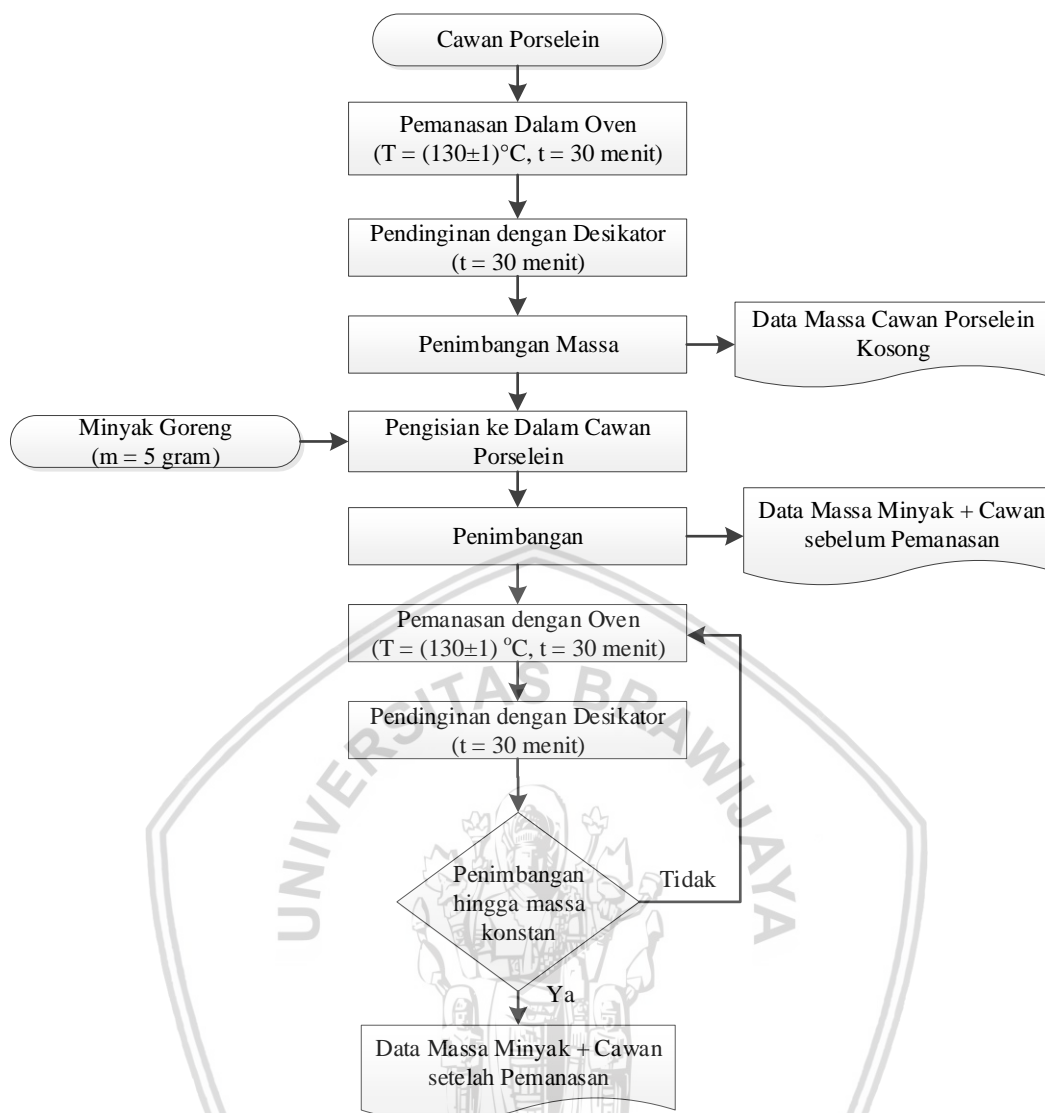


Gambar 3.1. Diagram alir pengujian kadar asam lemak bebas (*free fatty acid*)

3.4.1.2 Pengujian Kadar Air

Kadar air pada minyak dapat dihitung berdasarkan massa yang hilang dengan menggunakan metode pengeringan di dalam oven. Cawan porselin dikeringkan dalam oven pada suhu $(130 \pm 1) ^\circ\text{C}$ selama 30 menit, didinginkan di dalam desikator selama 30 menit, dan ditimbang untuk menentukan massa kering konstan wadah sampel. Kemudian, 5 gram sampel minyak goreng bekas ditambahkan ke dalam cawan porselin dan dikeringkan dalam oven pada suhu $(130 \pm 1) ^\circ\text{C}$ selama 30 menit dan didinginkan di dalam desikator selama 30 menit. Setelah itu cawan porselin dan sampel minyak ditimbang. Proses ini diulang hingga diperoleh massa yang konstan.

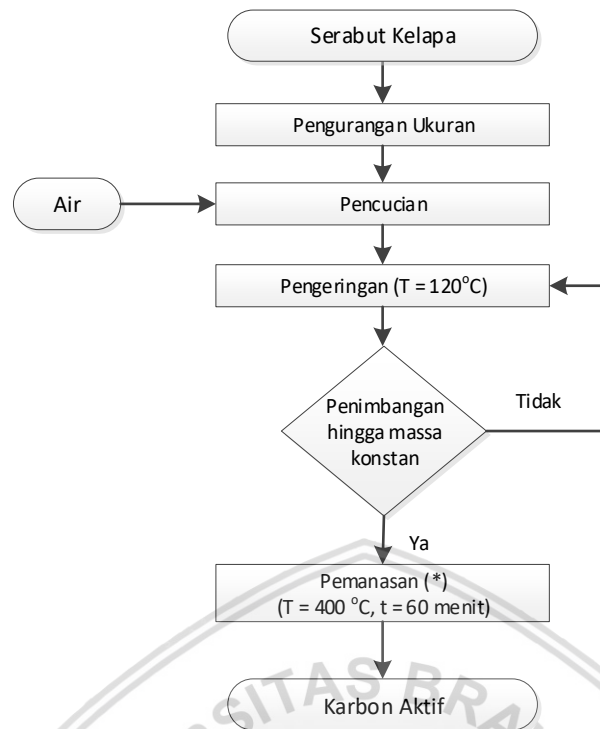
Adapun diagram alir pengujian kadar air yakni sebagai berikut.



Gambar 3.2. Diagram alir pengujian kadar air

3.4.2 Pembuatan Karbon Aktif dari Serabut Kelapa

Proses pembuatan karbon aktif dimulai dengan melakukan perlakuan awal yakni pencucian serabut kelapa dengan air bersih untuk menghilangkan kotoran yang menempel. Kemudian dilakukan pengeringan menggunakan *tray dryer* pada suhu 110°C selama ± 9 jam untuk mengurangi kandungan air di dalamnya, dan selanjutnya pengecilan ukuran serabut kelapa tersebut. Kemudian serabut kelapa ditimbang massa awalnya. Selanjutnya serabut kelapa dipanaskan dengan alat tanur dengan variasi suhu yakni 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C dalam waktu 60 menit, 70 menit, 80 menit untuk mendapatkan karbon aktif. Berikut diagram alir pada pembuatan karbon aktif.



Gambar 3.3. Diagram alir pembuatan karbon aktif dari serabut kelapa

Keterangan: (*) Prosedur ini diulang untuk semua variabel suhu 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, dan 600°C dengan waktu karbonisasi selama 60 menit, 70 menit, dan 80 menit.

Rendemen atau *yield* karbon aktif yang dihasilkan dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

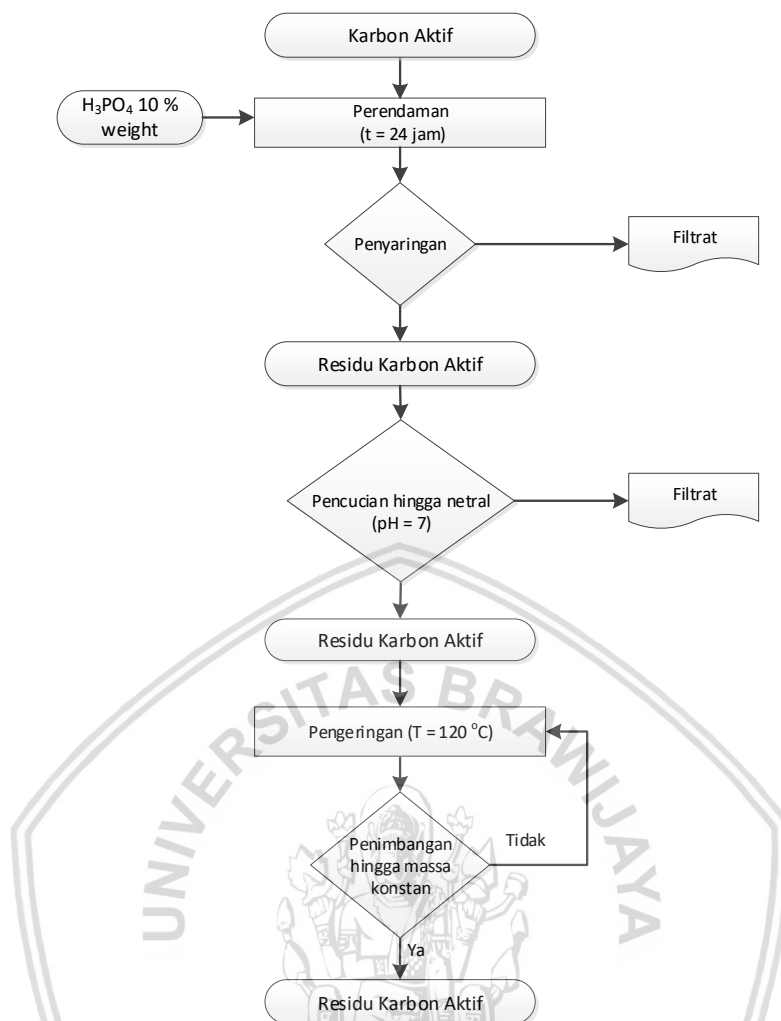
$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{W_c}{W_o} \times 100\% \quad (3-1)$$

Keterangan:

W_c = Massa karbon aktif setelah karbonisasi (gram)

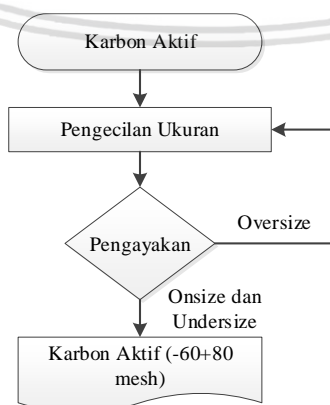
W_o = Massa serabut kelapa sebelum karbonisasi (gram)

Karbon aktif yang dihasilkan kemudian diaktivasi dengan cara direndam dengan larutan H_3PO_4 10% berat selama 24 jam dengan perbandingan 1:5. Selanjutnya karbon aktif disaring dari rendaman dan dicuci dengan alat *ultrasonic cleanser*. Setelah itu dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C hingga diperoleh massa konstan. Prosedur ini dilakukan untuk membandingkan karakteristik karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan asam fosfat. Berikut diagram alir aktivasi karbon aktif menggunakan asam fosfat.



Gambar 3.4. Diagram alir aktivasi karbon aktif menggunakan larutan asam fosfat

Karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat yang diperoleh diayak menggunakan ayakan hingga mendapatkan ukuran karbon -60 +80 mesh. Adapun diagram alir prosesnya ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.



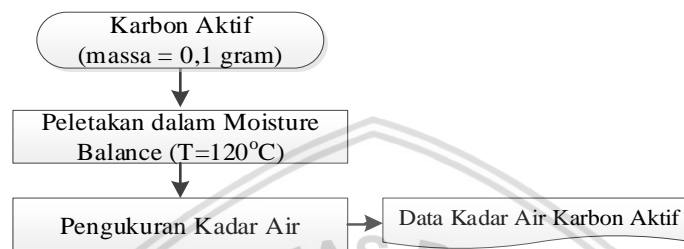
Gambar 3.5. Diagram alir pengayakan karbon aktif

Keterangan: Prosedur ini diulang untuk karbon aktif dengan aktivasi menggunakan larutan asam fosfat.

3.4.3 Pengujian Kriteria Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Aktivasi Menggunakan Larutan Asam Fosfat

3.4.3.1 Pengujian Kadar Air

Kadar air dapat ditentukan dengan menggunakan alat yang bernama *moisture balance*. Karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat masing-masing sebanyak 0,1 gram diletakkan pada wadah dalam *moisture balance* yang kemudian diukur kadar airnya pada suhu 120 °C.



Gambar 3.6. Diagram alir pengujian kadar air karbon aktif

Keterangan: Prosedur ini diulang untuk semua sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat.

3.4.3.2 Pengujian Kadar Abu

Kadar abu dapat ditentukan berdasarkan dari jumlah abu yang masih tertinggal bersama karbon aktif. Sebanyak 1 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam cawan porselein yang telah diketahui massanya. Kemudian dilakukan pengabuan di dalam tanur pada suhu 800°C selama 2 jam. Pengujian kadar abu mengacu pada SNI 06-3739-1995 tentang syarat mutu karbon aktif. Berikut persamaan dalam pengujian kadar abu.

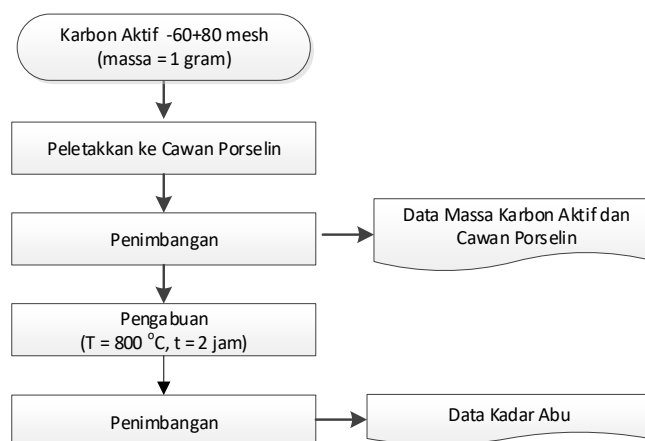
$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (3-2)$$

Keterangan:

m_1 = Massa awal sebelum pengabuan (gram)

m_2 = Massa akhir setelah pengabuan (gram)

Diagram alir pengujian kadar abu sebagai berikut.



Gambar 3.7. Diagram alir pengujian kadar abu karbon aktif

Keterangan: Prosedur ini diulang untuk semua sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat.

3.4.3.3 Pengujian Daya Serap terhadap Metilen Biru

Pengujian daya serap karbon aktif terhadap metilen biru dapat dilakukan dengan menggunakan metode adsorpsi. Pada awal pengujian, diharuskan membuat kurva kalibrasi dengan larutan standar metilen biru pada konsentrasi 1-5 ppm menggunakan alat *UV Visible* pada panjang gelombang 664,4 nm. Kemudian sebanyak 1 gram karbon aktif dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Lalu larutan metilen biru 1200 ppm sebanyak 200 mL ditambahkan pada karbon aktif. Selanjutnya adsorpsi secara *batch* dilakukan selama 15 menit dengan kecepatan 320 rpm. Setelah itu, karbon aktif disaring dan diukur absorbansinya menggunakan alat *UV Visible* pada panjang gelombang 664,4 nm. Pengujian daya serap terhadap metilen biru mengacu pada SNI 06-3730-1995 tentang syarat mutu karbon aktif, yang mana ditunjukkan sebagai berikut.

$$\text{Daya Serap Karbon (mg/g)} = \frac{(X_0 - X_1)}{W} \times V \quad (3-3)$$

Keterangan:

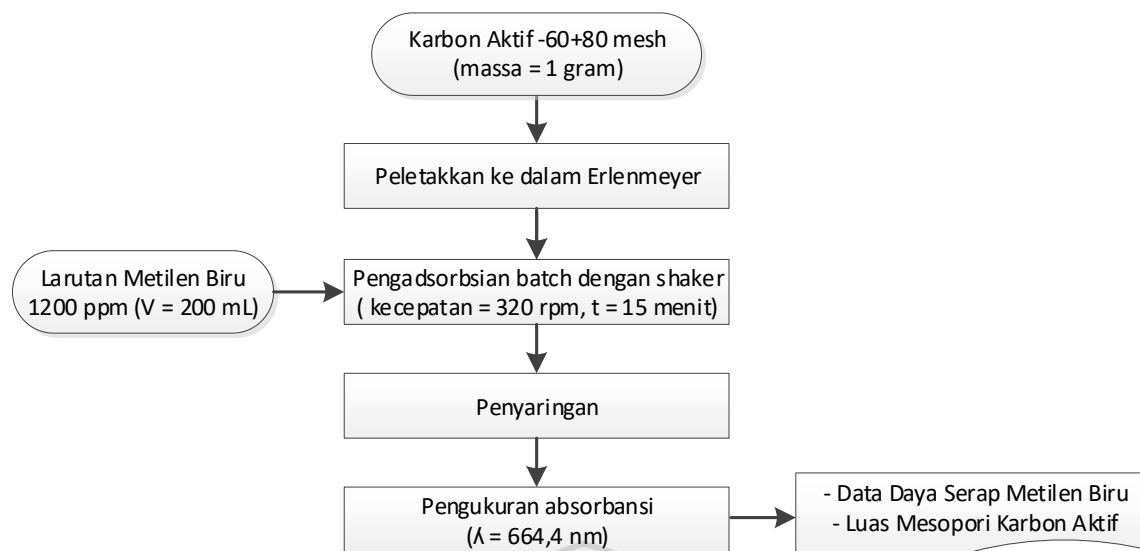
X_0 = Konsentrasi awal 75 ppm (ppm)

X_1 = Konsentrasi akhir (ppm)

V = Volume larutan (mL)

W = Massa sampel (gram)

Gambar berikut menunjukkan diagram alir pengujian daya serap karbon aktif terhadap metilen biru.



Gambar 3.8. Diagram alir pengujian daya serap karbon aktif terhadap metilen biru

Keterangan: Prosedur ini diulang untuk semua sampel karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat dan juga karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat pada kondisi optimal.

Nilai daya serap metilen biru dapat dikonversi menjadi luasan permukaan karbon aktif (total luasan mesopori dan makropori) melalui pendekatan perhitungan. Luas permukaan karbon aktif ditentukan melalui persamaan yang berkaitan dengan nilai daya serap metilen biru. Adapun persamaan tersebut dituliskan sebagai berikut.

$$S_{MB} = \frac{F \times q_m \times A_d \times N_{AV}}{M_w \times 1000}$$

Keterangan :

F = fraksi pewarna metilen biru (0,985)

q_m = Daya serap metilen biru (mg/gr)

A_d = Luas partikel metilen biru (130 \AA^2)

N_{AV} = Bilangan Avogadro ($6,019 \times 10^{23}$)

M_w = Berat molekul metilen biru (g/mol)

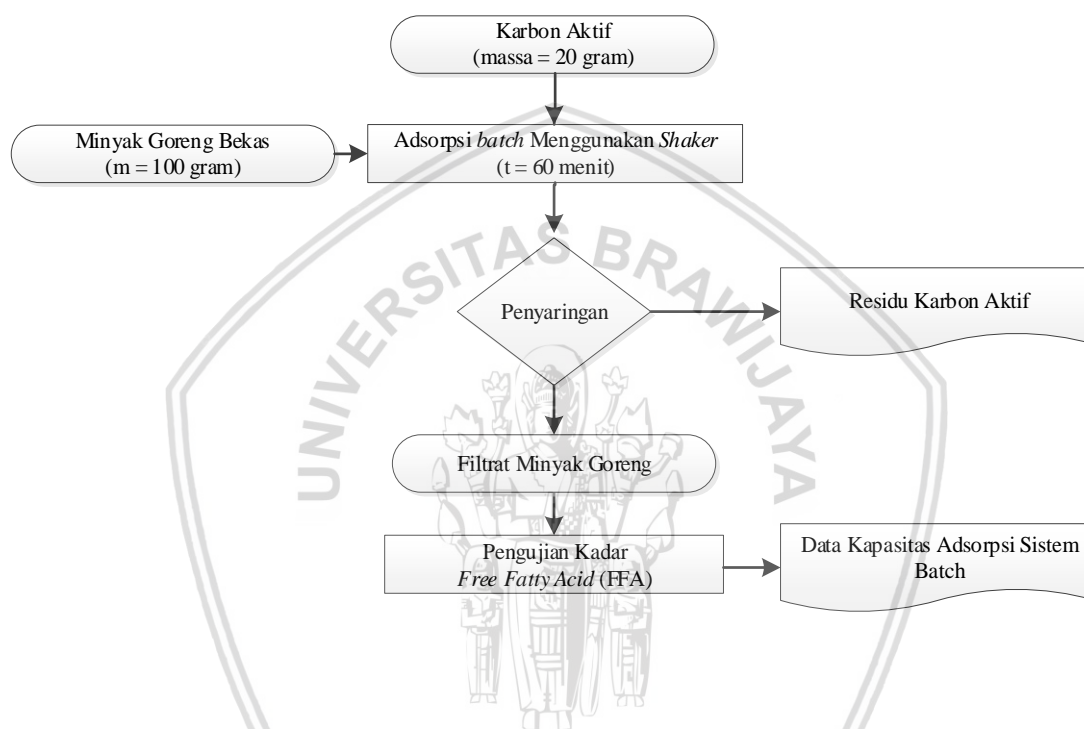
(Ferrero, 2009)

3.4.4 Uji Adsorpsi Batch

Pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara *batch* perlu dilakukan untuk memperoleh data kapasitas adsorpsi karbon aktif tanpa adanya perpindahan massa. Karbon aktif yang digunakan merupakan karbon aktif berukuran -60 +80 mesh dengan karakteristik karbon aktif paling optimal. Pengujian adsorpsi secara *batch* dilakukan dengan menggunakan variasi rasio massa karbon aktif terhadap massa minyak goreng bekas yaitu

10:100; 15:100; 20:100; 25:100; 30:100 dan 35:100 menggunakan alat *shaker* selama satu jam (Husin dkk., 2011).

Sehingga akan diperoleh data hasil uji adsorpsi secara *batch* serta kurva kesetimbangan massa adsorpsi *batch*. Data hasil uji adsorpsi secara *batch* digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dengan menggunakan pendekatan persamaan *Freundlich* dan *Langmuir* isothermis. Selanjutnya, data kapasitas adsorpsi digunakan untuk mengevaluasi sistem adsorpsi kontinyu. Berikut merupakan diagram alir prosedur untuk memperoleh kesetimbangan adsorpsi.



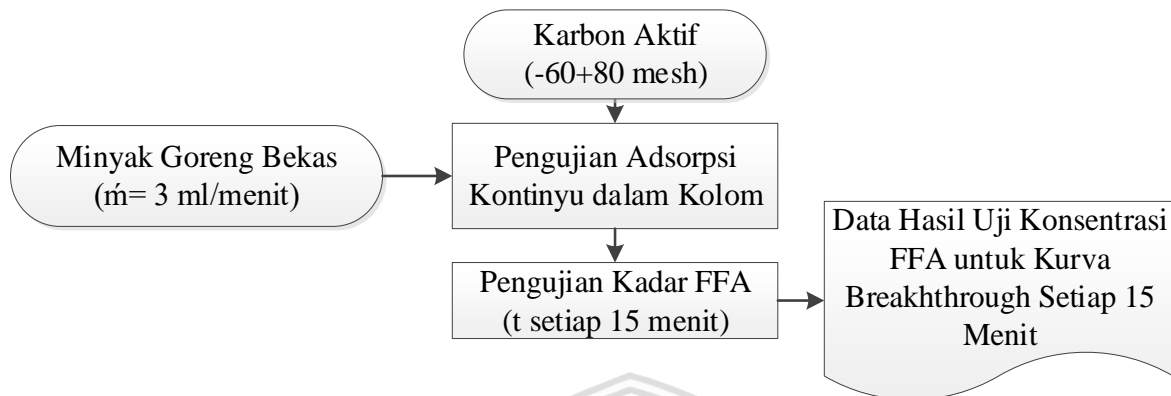
Gambar 3.9. Diagram alir kesetimbangan adsorpsi pada pemisahan FFA pada minyak goreng bekas

Keterangan : Prosedur ini diulang untuk massa karbon aktif 5 gr, 10 gr, 15 gr, 25 gr, 30 gr, dan 35 gr

3.4.5 Pemisahan FFA pada Minyak Goreng Bekas secara Kontinyu Menggunakan Kolom Adsorpsi

Pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dilakukan dengan cara mengalirkan minyak goreng bekas melewati karbon aktif pada kolom adsorpsi secara kontinyu dengan laju alir umpan pada kolom sebesar 3 ml/menit. Karbon aktif yang digunakan merupakan tiga sampel karbon aktif dengan variasi suhu dan waktu karbonisasi dengan ukuran -60 +80 mesh, sedangkan massa karbon aktif yang digunakan tiga kali massa kesetimbangan dalam sistem *batch*. Penelitian ini menggunakan kolom adsorpsi yang memiliki dimensi diameter dalam silinder 3 cm dan tinggi kolom sebesar 60 cm. Kemudian

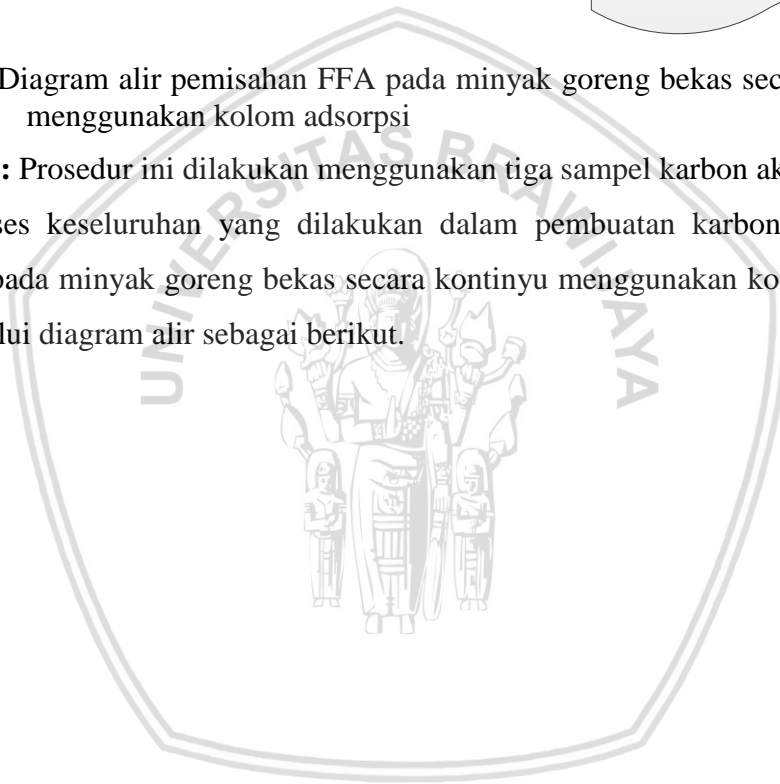
dilakukan pengujian kadar air dan kadar asam lemak bebas serta membandingkan data hasil pengujian dengan data SNI. Berikut merupakan diagram alir prosedur untuk proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas dengan adsorpsi secara kontinyu.

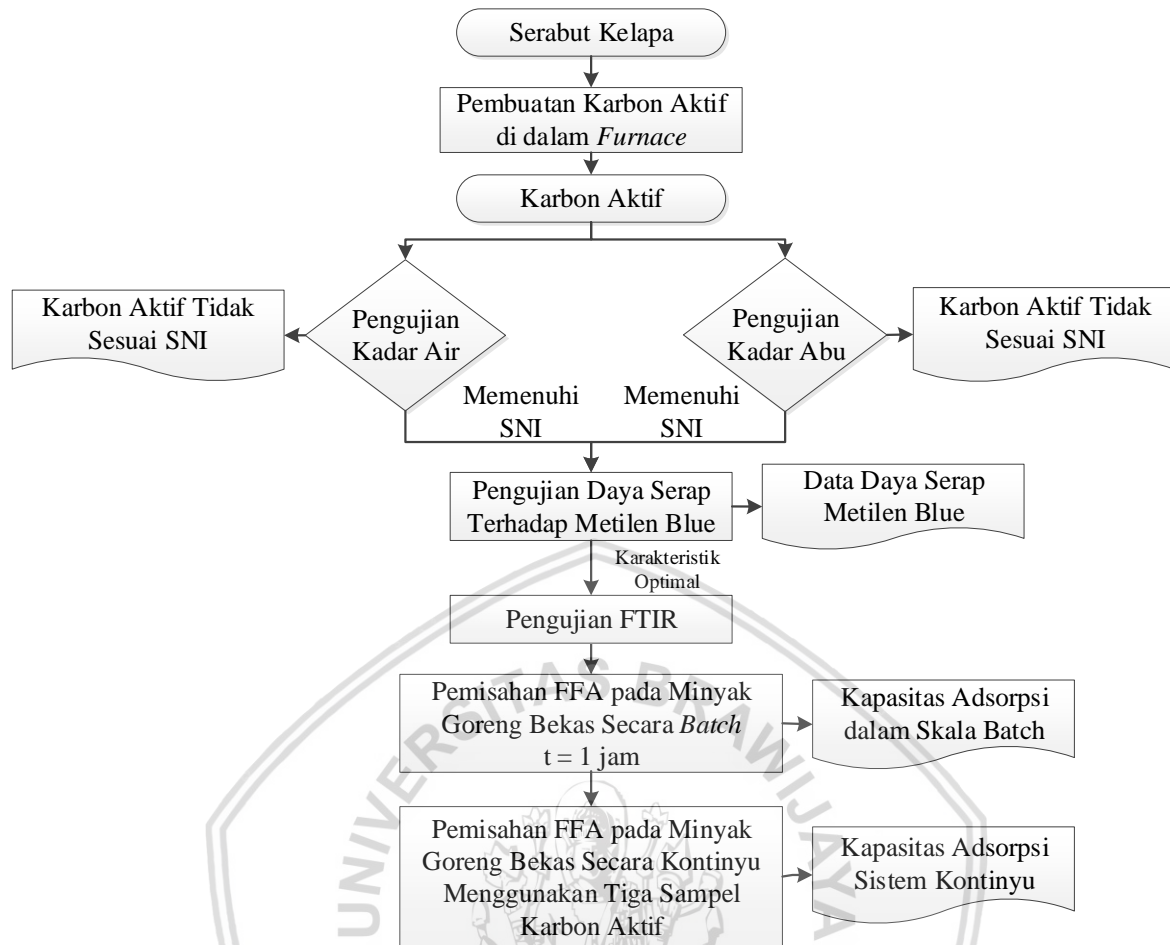


Gambar 3.10. Diagram alir pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan kolom adsorpsi

Keterangan : Prosedur ini dilakukan menggunakan tiga sampel karbon aktif.

Adapun proses keseluruhan yang dilakukan dalam pembuatan karbon aktif untuk pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan kolom adsorpsi ditunjukkan melalui diagram alir sebagai berikut.

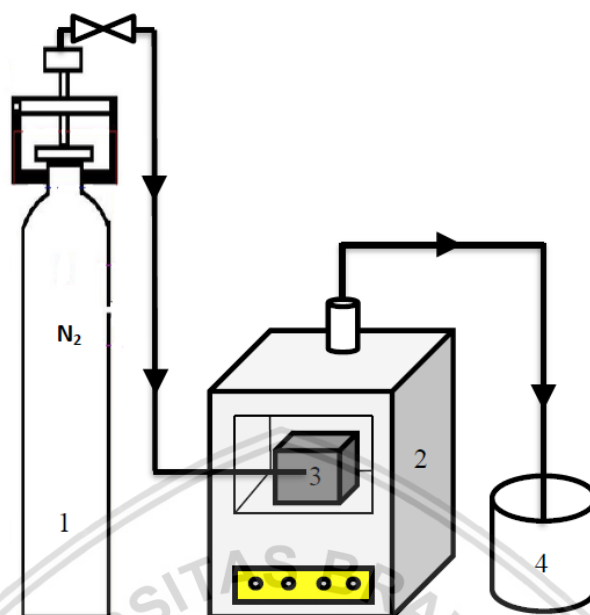




Gambar 3.11. Diagram alir keseluruhan proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan kolom adsorpsi

3.5 Rangkaian Alat

3.5.1 Proses Karbonisasi

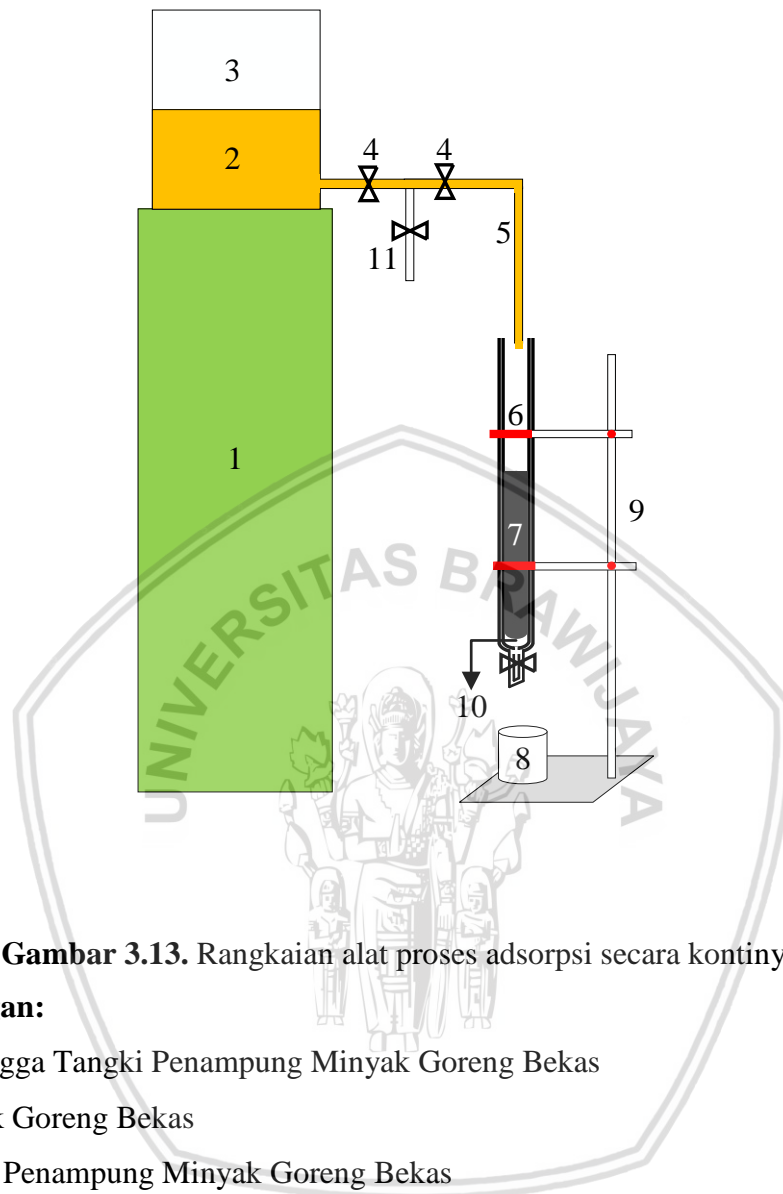


Gambar 3.12. Rangkaian alat proses karbonisasi

Keterangan:

1. Tabung Nitrogen
2. Tanur '*Carbolite*'
3. Reaktor Karbonisasi (p:16cm, l:12cm, t:15cm)
4. Wadah Penampung Gas Buang

3.5.2 Adsorpsi Minyak Goreng Bekas secara Kontinyu

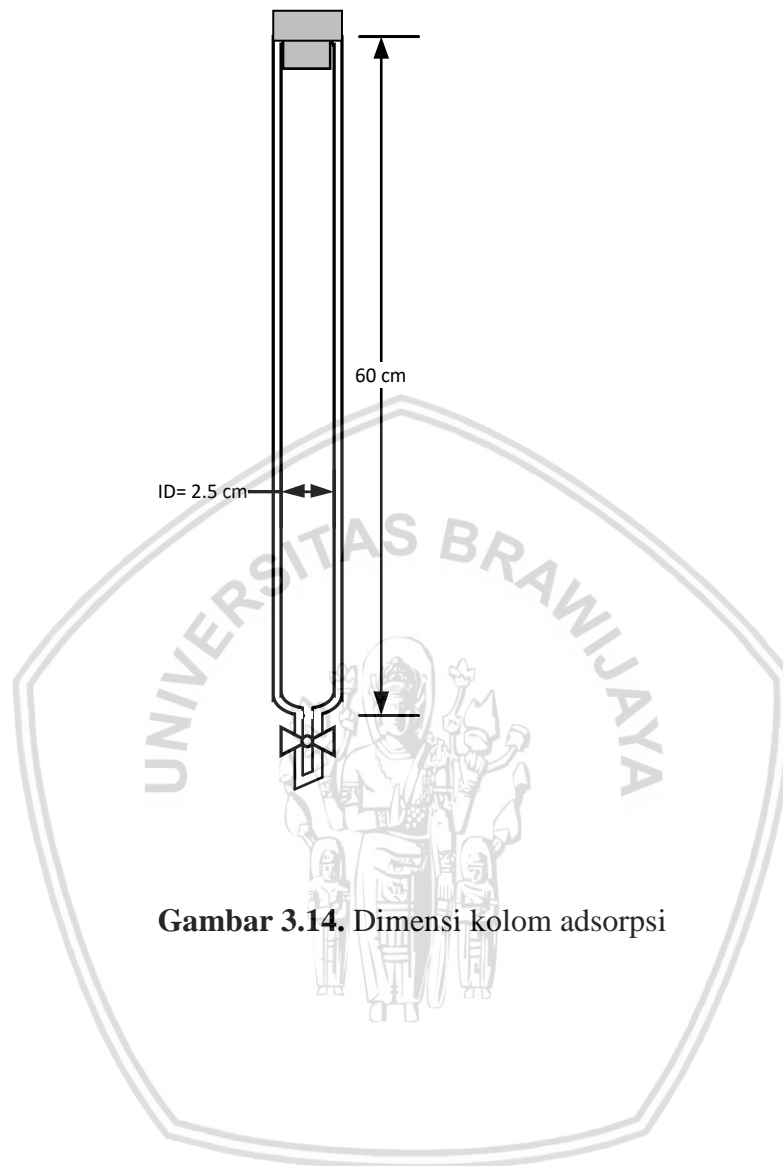


Gambar 3.13. Rangkaian alat proses adsorpsi secara kontinyu

Keterangan:

1. Penyangga Tangki Penampung Minyak Goreng Bekas
2. Minyak Goreng Bekas
3. Tangki Penampung Minyak Goreng Bekas
4. Valve
5. Aliran Umpan Kolom Adsorpsi
6. Kolom Adsorpsi
7. Karbon Aktif -60 +80 mesh
8. Wadah Penampung Minyak Hasil Adsorpsi
9. Rangkaian Statif
10. Glasswole
11. Valve kalibrasi laju alir

3.5.3 Dimensi Kolom Adsorpsi



Gambar 3.14. Dimensi kolom adsorpsi

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Karbon Aktif dari Serabut Kelapa

Karbon aktif yang akan digunakan dalam proses pemisahan FFA pada minyak goreng bekas dihasilkan dari proses karbonisasi serabut kelapa. Serabut kelapa yang digunakan didapatkan dari CV Sumber Sari di Daerah Jember, Jawa Timur. Serabut kelapa ini memiliki karakteristik sebagai berikut.

Tabel 4.1. Karakteristik bahan baku

Parameter	Keterangan
Kadar Air	15-18%
pH	7
Ukuran	4 cm s/d 25 cm
Warna	Kuning Gading

Sumber; www.sumbersariiss.com, diakses 27 Februari 2018.

Tabel 4.1. menunjukkan bahwa ukuran dan kadar air serabut kelapa masih sangat tinggi, sehingga perlu dilakukan pengecilan ukuran dan pengeringan serabut kelapa sebelum memasuki tahap karbonisasi. Ukuran serabut kelapa dapat mempengaruhi kuantitas serabut kelapa yang dapat digunakan dalam proses karbonisasi. Semakin besar ukuran serabut kelapa, maka akan semakin menghabiskan banyak ruang di dalam reaktor karbonisasi, sehingga akan semakin sedikit massa yang dapat digunakan. Sedangkan kadar air dapat mempengaruhi *yield* karbon aktif yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar air dalam serabut kelapa, maka massa serabut kelapa bersih (*netto*) akan semakin kecil, sehingga massa karbon aktif yang dapat dihasilkan dari proses karbonisasi juga akan semakin kecil. Kadar air serabut kelapa setelah proses pengeringan dapat berkurang hingga 60% menjadi 6-7%.

4.2 Karakterisasi Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Aktivasi Menggunakan Larutan Asam Fosfat

Serabut kelapa yang telah memiliki kadar air antara 6-7% akan digunakan sebagai bahan baku dalam proses karbonisasi. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan karbon aktif dengan pori-pori karbon aktif yang telah terbuka.

Karbon aktif yang dihasilkan dari serabut kelapa melalui variasi suhu dan waktu karbonisasi memiliki nilai *yield* (%) yang berbeda - beda. Karakterisasi karbon aktif ditinjau dari uji kadar air, kadar abu, daya serap metilen biru, dan luas permukaan. Sampel karbon aktif selanjutnya diaktivasi secara kimia dan juga dilakukan karakterisasi karbon aktif.

Karbon aktif yang digunakan memiliki ukuran -60 +80 mesh karena sudah berbentuk serbuk, dibandingkan karbon aktif dengan ukuran -50+60 mesh yang masih berukuran lebih besar dan masih berbentuk serabut sehingga tidak dapat digunakan dalam proses adsorpsi. Hal ini dikarenakan, ukuran karbon aktif yang besar, seperti serabut akan memperbesar rongga kosong dalam *bed* karbon aktif sehingga penyerapan FFA tidak akan optimal. Sedangkan ketika ukuran adsorben terlalu kecil, maka akan semakin rapat jarak antar partikel karbon aktif dan akan semakin kecil rongga kosong dalam *bed* karbon aktif, sehingga minyak goreng bekas akan semakin sulit mengalir melewati *bed*. Adapun bentuk karbon aktif dapat dilihat pada gambar 4.1.



(a) Karbon Aktif Ukuran -50+60 mesh

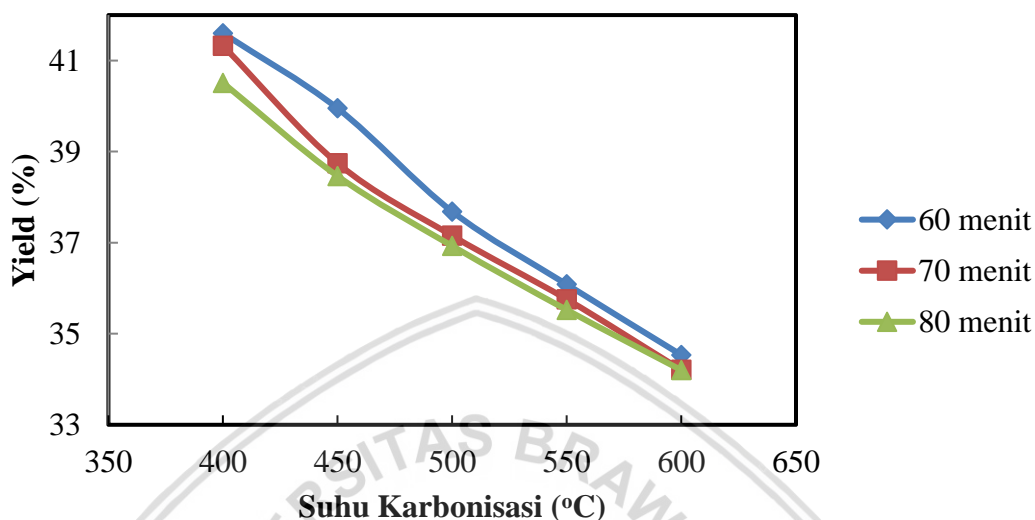
(b) Karbon Aktif Ukuran -60+80 mesh

Gambar 4.1. Karbon aktif dengan ukuran -50+60 dan -60+80 mesh

Untuk hasil karakterisasi karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat akan dijelaskan pada subbab-subbab di bawah ini.

4.2.1 Analisa *Yield* Karbon Aktif

Yield karbon aktif dapat ditentukan dengan cara membandingkan massa karbon aktif dengan massa serabut kelapa. Berikut hasil perhitungan *yield* (%) karbon aktif pada variasi suhu dan waktu karbonisasi yang ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap *yield* (%) pada setiap variabel waktu karbonisasi

Dari gambar 4.2. dapat ditunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu karbonisasi, maka *yield* karbon aktif yang dihasilkan akan semakin kecil. Berdasarkan analisa data menggunakan metode BNT (Beda Nyata Terkecil) pada lampiran 1, pada suhu karbonisasi 400 °C, nilai beda nyata masing-masing variabel waktu karbonisasi 60 menit, 70 menit, dan 80 menit yaitu 0,274; 1,089; dan 0,815, dimana nilai-nilai beda nyata tersebut jauh lebih kecil dibandingkan nilai BNT (16,056). Begitu juga pada variabel suhu karbonisasi lain, Nilai BNT > Beda Nyata, maka waktu karbonisasi selama 60, 70 dan 80 menit tidak berpengaruh secara signifikan terhadap *yield* karbon aktif yang dihasilkan selama proses karbonisasi. Sedangkan suhu karbonisasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *yield* karbon aktif yang dihasilkan, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.2.

Pada waktu karbonisasi yang sama, *yield* karbon aktif pada kondisi suhu karbonisasi 600 °C lebih kecil dibandingkan dengan *yield* karbon aktif pada variabel suhu karbonisasi yang lain. Selain itu, pada suhu karbonisasi yang sama, *yield* karbon aktif pada kondisi waktu karbonisasi 80 menit lebih kecil dibandingkan dengan *yield* karbon aktif pada variabel waktu karbonisasi yang lain. Hal ini dikarenakan selama proses karbonisasi terjadi fenomena transfer massa yaitu terdekomposisinya beberapa komponen lignoselulosa, terutama komponen total selulosa dan teruapkannya senyawa-senyawa volatil dari serabut kelapa

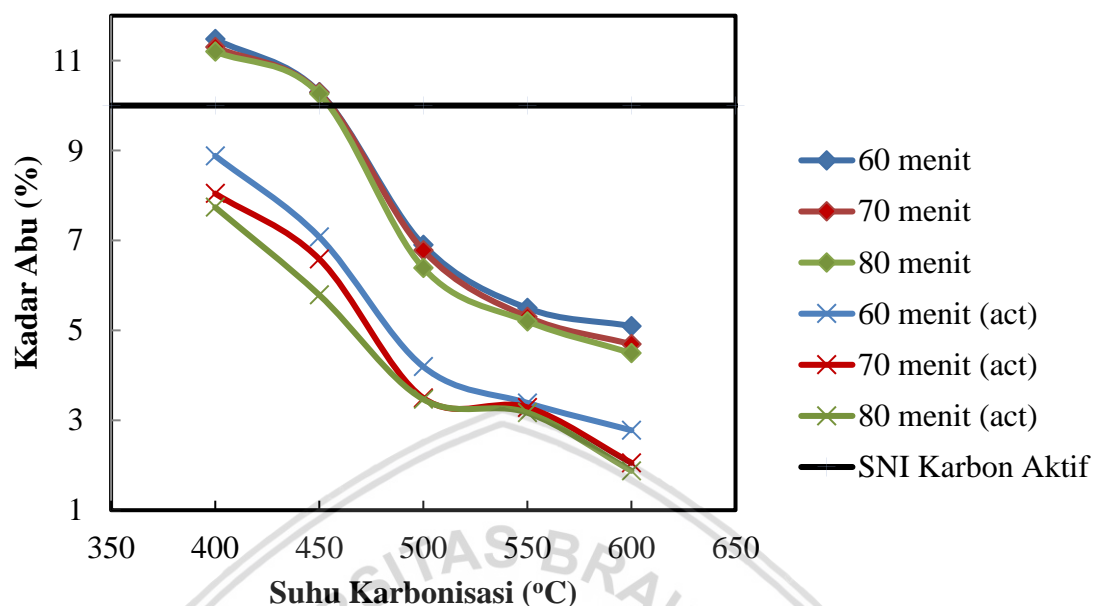
sehingga massa karbon aktif yang didapat lebih kecil dari serabut kelapa dan *yield* karbon aktif yang dihasilkan akan semakin kecil. Sehingga semakin tinggi suhu karbonisasi dan semakin lama waktu karbonisasinya, maka akan semakin banyak senyawa-senyawa volatil yang teruapkan dan lepas dari karbon aktif dan semakin banyak komponen lignoselulosa, terutama komponen total selulosa yang terdekomposisi menjadi karbon aktif yang menyebabkan *yield* karbon aktif yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Lee dkk. (2017: 27) terhadap proses karbonisasi bahwa semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi serta semakin banyak zat volatil yang teruapkan maka *yield* karbon aktif yang didapatkan semakin kecil. *Yield* karbon aktif yang dihasilkan dalam penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan *yield* karbon aktif yang dihasilkan oleh Lee dkk. (2017:27) pada kondisi karbonisasi yang sama, yaitu pada suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit. Pada penelitian ini (bahan baku serabut kelapa) menghasilkan *yield* sebesar 34,204%, sedangkan pada penelitian Lee dkk. (bahan baku tempurung kelapa) menghasilkan *yield* karbon aktif sebesar 23,569%. Hal ini dikarenakan serabut kelapa memiliki kandungan lignoselulosa, terutama komponen total selulosa yang lebih tinggi dibandingkan dengan tempurung kelapa.

Berdasarkan gambar 4.2. diketahui bahwa *yield* karbon aktif terkecil diperoleh dari kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 80 menit dengan *yield* sebesar 34,200% dan *yield* karbon aktif terbesar diperoleh dari kondisi suhu karbonisasi 400 °C selama 60 menit dengan *yield* sebesar 41,600%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 80 menit, sebagian besar senyawa-senyawa volatil telah teruapkan dan lepas dari karbon aktif serta semakin banyak komponen lignoselulosa, terutama komponen total selulosa yang terdekomposisi menjadi karbon aktif, sehingga residu karbon aktif yang dihasilkan kecil. Sedangkan pada kondisi suhu karbonisasi 400 °C selama 60 menit, baik senyawa-senyawa volatil yang teruapkan dan lepas dari karbon aktif maupun lignoselulosa, terutama komponen total selulosa yang terdekomposisi menjadi karbon aktif masih sangat sedikit, sehingga residu karbon aktif yang dihasilkan besar.

4.2.2 Analisa Kadar Abu Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Aktivasi Menggunakan Larutan Asam Fosfat

Penentuan kadar abu dilakukan pada karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat. Semua karbon aktif akan diukur kadar abunya dan karbon aktif dengan nilai kadar abu yang memenuhi SNI 06-3739-1995 akan diaktivasi menggunakan larutan asam fosfat serta juga akan diuji kadar abunya. Kandungan abu sangat

berpengaruh pada kualitas karbon aktif yang dihasilkan. Hasil perhitungan kadar abu ditunjukkan melalui gambar 4.3 sebagai berikut.



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap kadar abu (%) pada setiap variabel waktu karbonisasi

Abu yang tersisa dari hasil pemanasan menunjukkan bahwa abu tersebut merupakan kandungan anorganik yang tidak terdekomposisi pada suhu 800°C selama 2 jam. Komponen abu sendiri terdiri beberapa komponen anorganik seperti Si, K, Na, Ca, Al, Mg, Fe, Al, dan komponen anorganik lain dalam kuantitas yang sangat kecil (Verma dan Varanasi, 2015). Gambar 4.3 menunjukkan adanya pengaruh suhu dan waktu karbonisasi pada kadar abu yang dihasilkan. Kadar abu yang ditunjukkan pada gambar 4.3 memiliki pola grafik yang hampir sama. Semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi, maka kadar abu yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal ini dikarenakan pada suhu rendah, zat non-karbon (zat anorganik) masih banyak yang belum terdekomposisi dan masih tertinggal bersama dengan karbon aktif (Chen, 2017).

Berdasarkan analisa data menggunakan metode BNT (Beda Nyata Terkecil) pada lampiran 1, pada suhu karbonisasi 400 °C, nilai beda nyata masing-masing variabel waktu karbonisasi 60 menit, 70 menit, dan 80 menit yaitu 0,177; 0,277; dan 0,1, dimana nilai-nilai beda nyata tersebut jauh lebih kecil dibandingkan nilai BNT (16,031). Begitu juga pada variabel suhu karbonisasi lain, Nilai BNT > Beda Nyata, maka waktu karbonisasi selama 60, 70 dan 80 menit tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kadar abu karbon aktif yang dihasilkan selama proses pengabuan. Sedangkan suhu karbonisasi memiliki pengaruh yang

signifikan terhadap kadar abu karbon aktif yang dihasilkan seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3.

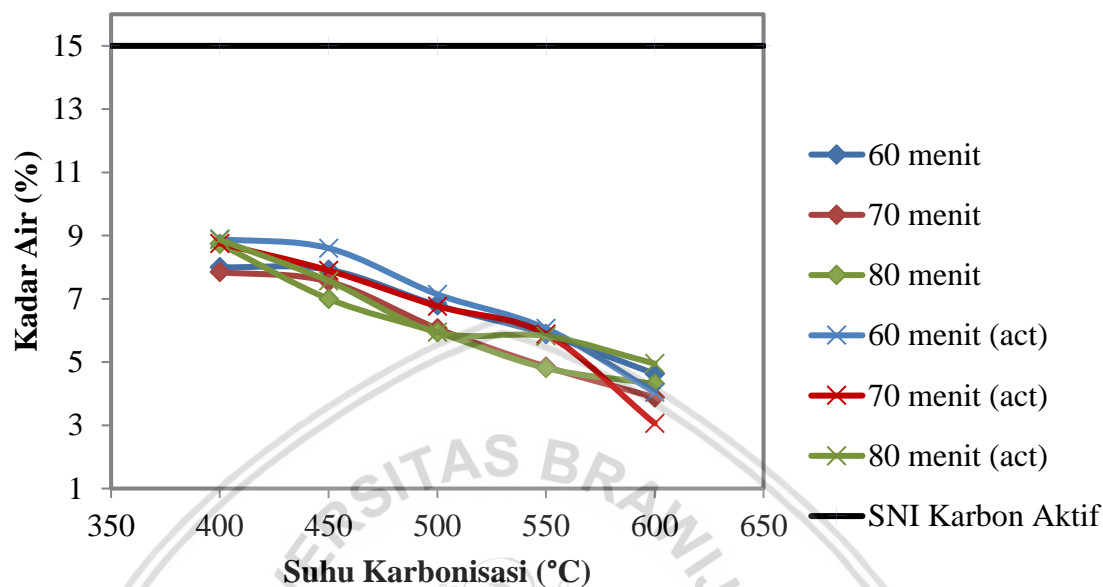
Berdasarkan gambar 4.3., kadar abu terendah dimiliki oleh karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 80 menit dengan nilai sebesar 4,496% dan kadar abu tertinggi diperoleh dari kondisi suhu karbonisasi 400 °C selama 60 menit dengan nilai sebesar 11,477%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 80 menit, zat non-karbon (zat anorganik) yang belum terdekomposisi dan masih tertinggal bersama dengan karbon aktif berjumlah lebih sedikit dibandingkan pada kondisi suhu karbonisasi 400 °C selama 60 menit, sehingga kadar abunya lebih kecil. Zat anorganik yang tidak terdekomposisi masih akan terikat dan tertinggal bersama dengan karbon aktif, sehingga akan memperbesar nilai kadar abu dari karbon tersebut. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa sampel karbon aktif (tanpa aktivasi menggunakan larutan asam fosfat) dengan kondisi suhu karbonisasi 400 – 450 °C memiliki nilai kadar abu yang tidak memenuhi SNI, yaitu melebihi batas maksimal kadar abu yang diperbolehkan oleh SNI (maksimal kadar abu 10%).

Selain itu, gambar 4.3 menunjukkan bahwa kadar abu pada karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat lebih tinggi dibandingkan dengan kadar abu pada karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat. Aktivator kimia (asam fosfat) mampu menurunkan kadar abu dari suatu karbon aktif. Hal ini dikarenakan setelah proses aktivasi menggunakan H_3PO_4 10%, terdapat zat anorganik (non-karbon) yang tersisihkan dari karbon aktif (ikut terlarut atau terbawa oleh asam fosfat), sehingga ketika proses pengabuan karbon aktif pada suhu 800°C selama 2 jam, maka hanya tersisa zat anorganik dalam jumlah kecil dan kadar abu pada karbon aktif akan bernilai rendah. Aktivator kimia dapat membantu melarutkan zat anorganik yang menempel pada permukaan karbon aktif, sehingga dapat menurunkan nilai kadar abu dan memperluas permukaan pori karbon aktif (Astuti dkk, 2016).

Semua hasil kadar abu karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat dari variabel penelitian ini memenuhi SNI Karbon Aktif (maksimal 10%) yaitu kurang dari 10%. Kadar abu karbon aktif dengan nilai paling kecil dimiliki oleh variabel suhu 600°C dan waktu 80 menit yaitu 1,874 % dan kadar abu karbon aktif terbesar diperoleh dari kondisi suhu karbonisasi 400 °C selama 60 menit dengan nilai sebesar 8,882%.

4.2.3 Analisa Kadar Air Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Aktivasi Menggunakan Larutan Asam Fosfat

Pembacaan kadar air dilakukan untuk semua variabel suhu dan waktu karbonisasi. Hasil pembacaan kadar air yakni ditunjukkan melalui gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap kadar air (%) pada setiap variabel waktu karbonisasi

Berdasarkan analisa data menggunakan metode BNT (Beda Nyata Terkecil) pada lampiran 1, pada suhu karbonisasi 400 °C, nilai beda nyata masing-masing variabel waktu karbonisasi 60 menit, 70 menit, dan 80 menit yaitu 0,157; 0,738; dan 0,895, dimana nilai-nilai beda nyata tersebut jauh lebih kecil dibandingkan nilai BNT (216,012). Begitu juga pada variabel suhu karbonisasi lain, Nilai BNT > Beda Nyata, maka waktu karbonisasi selama 60, 70 dan 80 menit tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kadar air karbon aktif yang dihasilkan selama proses pengabuan. Sedangkan suhu karbonisasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar air karbon aktif yang dihasilkan seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.4.

Selain itu dari gambar 4.4 diketahui bahwa semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi, maka kadar air karbon aktif cenderung menurun. Hal ini dikarenakan semakin tinggi suhu dapat membuat jumlah air yang menguap juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Hartanto dan Ratnawati (2010:14) pada karbon aktif yang terbuat dari serabut kelapa. Selain itu, pengaruh waktu karbonisasi terhadap kadar air secara teori menyebutkan bahwa semakin lama waktu, maka kadar air semakin sedikit. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan terjadi beberapa

kenaikan kadar air di berbagai waktu. Hasil penelitian seperti ini pernah didapatkan oleh Lestari dkk (2017) yang dilakukan pada karbon aktif dari tempurung kelapa. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu karbonisasi, maka pori-pori dari karbon aktif yang terbentuk akan semakin banyak dan menambah sifat higroskopis dari karbon aktif. Uap air yang terdapat pada udara akan teradsorb secara fisika pada permukaan luar maupun permukaan pori karbon aktif (Hartanto dan Ratnawati, 2010).

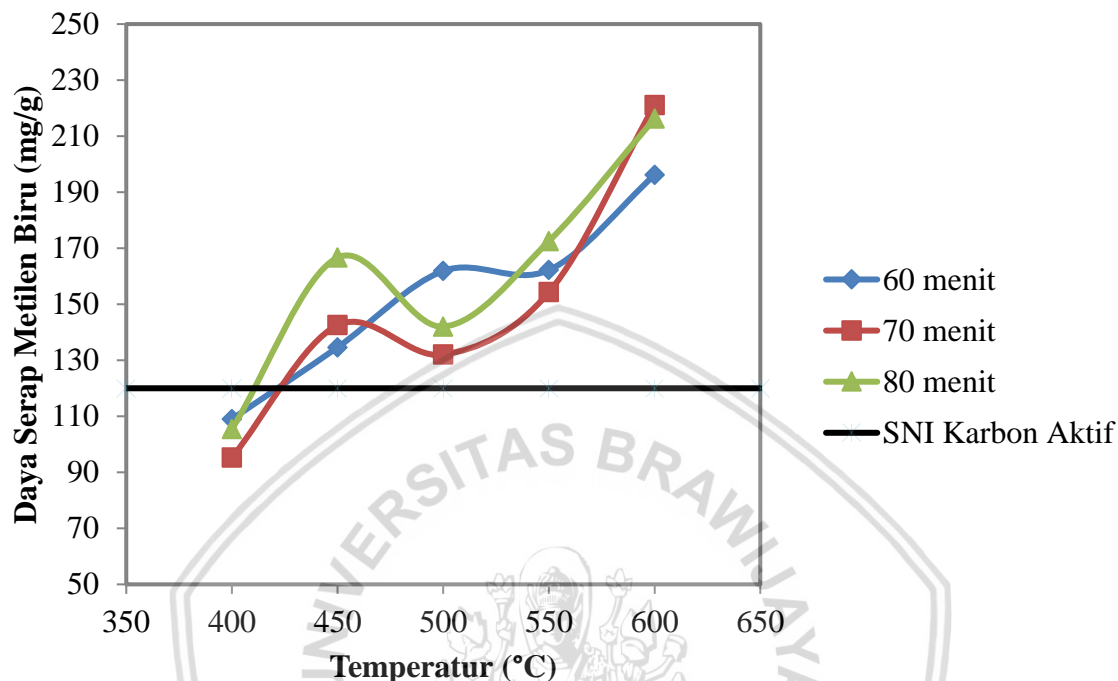
Gambar 4.4 juga menunjukkan kadar air dengan nilai paling kecil dari sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat dimiliki oleh sampel dengan kondisi suhu 600 °C selama 70 menit yaitu masing-masing sebesar 3,884% dan 3,06%. Selain itu, berdasarkan gambar 4.4 diketahui bahwa karbon menggunakan larutan asam fosfat setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat memiliki nilai kadar air yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat, sebab pori yang terbentuk pada karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat semakin banyak akibat kinerja aktivator H_3PO_4 10% dalam membuka pori selama proses aktivasi menggunakan larutan asam fosfat yang didukung oleh pernyataan Astuti dkk (2016) dalam penelitiannya. Hal ini menyebabkan sifat higroskopis karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat lebih tinggi dibandingkan karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat. Walaupun kadar air meningkat di beberapa titik, semua nilai kadar air pada karbon menggunakan larutan asam fosfat sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat pada hasil karakterisasi ini memenuhi standar SNI Karbon Aktif, yaitu dengan batas maksimal 15%.

4.2.4 Analisa Daya Serap Metilen Biru

Salah satu komponen terbesar yang terdapat dalam minyak yaitu asam lemak, dengan persentase sebesar 94-96% (Stier, 2003). Asam lemak memiliki ukuran 2-30 nm, bergantung pada jenis asam lemaknya (Goncalves dkk., 2015). Molekul metilen biru juga memiliki ukuran yang hampir sama dengan ukuran asam lemak, yaitu 2-15 nm (Desy dkk., 2013). Ukuran molekul asam lemak dan metilen biru tergolong ke dalam ukuran mesopori, yang ukurannya berkisar antara 2-50 nm (Sing dkk., 1985). Sehingga perhitungan daya serap karbon aktif terhadap asam lemak dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan perhitungan daya serap terhadap metilen biru dan perhitungan luasan permukaannya, karena keduanya sama-sama memiliki ukuran molekul yang sesuai.

Analisa daya serap terhadap metilen biru dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui banyaknya metilen biru (berukuran 2-15 nm) yang dapat diserap oleh karbon aktif. Analisa

metilen biru dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 664,4 nm, karena memiliki absorbansi tertinggi dibandingkan panjang gelombang yang lain. Berikut merupakan grafik yang menyajikan data daya serap metilen biru untuk setiap sampel karbon aktif.



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap daya serap metilen biru (mg/g) pada setiap variabel waktu karbonisasi

Berdasarkan analisa data menggunakan metode BNT (Beda Nyata Terkecil) pada lampiran 1, Nilai BNT > Beda Nyata, maka waktu karbonisasi selama 60, 70 dan 80 menit cenderung tidak berpengaruh secara signifikan terhadap daya serap karbon aktif terhadap metilen biru. Sedangkan suhu karbonisasi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap daya serap karbon aktif terhadap metilen biru, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.5.

Berdasarkan gambar 4.5 diketahui bahwa daya serap karbon aktif terhadap metilen biru (mg/g) cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya suhu karbonisasi. Sedangkan nilai daya serap karbon aktif terhadap metilen biru (mg/g) mengalami fluktuasi seiring bertambahnya waktu karbonisasi. Daya serap tertinggi yaitu 221,091 miligram metilen biru per gram karbon aktif, yang terjadi pada suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit.

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses karbonisasi dengan variabel suhu karbonisasi < 600 °C memiliki daya serap yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan karbon aktif

dengan suhu karbonisasi 600 °C. Hal ini dikarenakan pada suhu karbonisasi < 600 °C, komponen lignoselulosa, terutama komponen total selulosa belum terdegradasi secara sempurna menjadi karbon aktif. Sehingga pori-pori karbon aktif (khususnya mesopori) yang terbentuk juga masih sedikit. Selain itu pada suhu rendah (<600 °C), zat volatil dan zat non-karbon (zat anorganik) masih banyak yang belum menguap dan masih tertinggal bersama dengan karbon aktif serta menutupi pori-pori karbon aktif yang terbentuk (Chen, 2017).

Waktu karbonisasi tidak berpengaruh secara signifikan pada nilai daya serap karbon aktif terhadap metilen biru. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya fluktuasi nilai daya serap karbon aktif setiap variabel waktu karbonisasi pada setiap suhu karbonisasinya. Namun, secara keseluruhan dari gambar 4.5 diketahui bahwa semakin lama waktu karbonisasi, maka nilai daya serap karbon aktif akan mengalami sedikit peningkatan, karena terbentuk pori yang sedikit lebih banyak. Hal ini didukung oleh Marsh (2001) yang mengatakan bahwa waktu karbonisasi tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap jumlah pori karbon aktif yang terbentuk.

Tabel 4.2. Daya serap metilen biru sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat pada kondisi yang sama

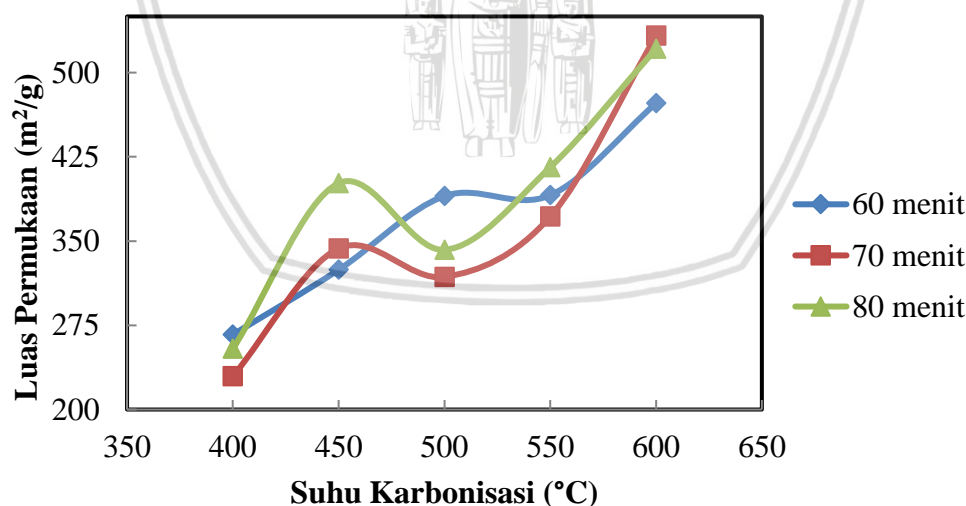
Sampel	Kondisi Operasi		Daya Serap Metilen Biru Karbon Aktif (mg/g)	
	T (°C)	t (menit)	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi
14	600	70	221,091	177,303

Berdasarkan tabel 4.2., pada kondisi karbonisasi yang sama yaitu pada suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit, karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat memiliki nilai daya serap terhadap metilen biru yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat. Proses aktivasi menggunakan larutan asam fosfat menggunakan larutan asam fosfat dapat memperluas luas permukaan total karbon aktif, salah satunya yaitu dengan membentuk pori baru pada permukaan karbon aktif termasuk pada dinding mesopori karbon aktif menjadi pori-pori dengan ukuran yang lebih kecil (mikropori) (Astuti dkk, 2016). Selama proses aktivasi menggunakan larutan asam fosfat berlangsung, maka akan menyebabkan rapuhnya kerangka karbon aktif mesopori sehingga dinding karbon aktif menjadi terkikis akibat reaksi oksidasi karbon aktif dan reduksi senyawa H_3PO_4 , sehingga pori dengan ukuran kecil (mikropori) pada karbon aktif akan semakin banyak terbentuk di antara mesopori (Sattler, 2016).

Terbentuknya mikropori menyebabkan sebagian besar metilen biru tidak dapat terserap oleh pori karbon aktif karena memiliki ukuran berbeda, sehingga nilai daya serap karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat terhadap metilen biru akan lebih rendah dibandingkan karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat (Desy dkk., 2015).

Nilai daya serap karbon aktif pada suhu karbonisasi 400 °C selama 60, 70, dan 80 menit tidak memenuhi SNI memenuhi standar SNI Karbon Aktif tentang daya serap metilen biru, yaitu dengan batas minimal 120 mg/g. Sedangkan karbon aktif untuk variable suhu > 400 °C telah memenuhi SNI.

Data dari analisa daya serap metilen biru ini juga dapat digunakan untuk menghitung luasan permukaan pori (mesopori dan makropori) dari karbon aktif melalui pendekatan perhitungan luas permukaan. Pori yang dapat dihitung luasannya menggunakan pendekatan persamaan luas permukaan yaitu pori dengan ukuran mesopori dan makropori. Hal ini dikarenakan molekul metilen biru dapat ter-*adsorp* pada permukaan mesopori yang memiliki ukuran sesuai dengan ukuran molekul metilen biru dan juga tidak menutup kemungkinan untuk ter-*adsorp* pada permukaan pori yang lebih besar, yaitu makropori. Berikut merupakan grafik yang menyajikan data luas permukaan untuk setiap sampel karbon aktif tanpa aktivasi menggunakan larutan asam fosfat.



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara suhu karbonisasi (°C) terhadap luas permukaan (m²/g) pada setiap variabel waktu karbonisasi

Berdasarkan analisa data menggunakan metode BNT (Beda Nyata Terkecil) pada lampiran 1, Nilai BNT > Beda Nyata, maka waktu karbonisasi selama 60, 70 dan 80 menit cenderung tidak berpengaruh secara signifikan terhadap luas permukaan karbon aktif.

Sedangkan suhu karbonisasi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap luas permukaan karbon aktif, seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.6.

Nilai luas permukaan pori (mesopori dan makropori) dari karbon aktif sebanding dengan nilai daya serap terhadap metilen birunya. Selain itu, grafik luas permukaan memiliki pola yang sama dengan grafik daya serap metilen biru. Berdasarkan gambar 4.6. diketahui bahwa luas permukaan (m^2/g) cenderung mengalami peningkatan seiring bertambahnya suhu dan waktu karbonisasi. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya senyawa lignoselulosa, terutama komponen total selulosa yang terdekomposisi menjadi karbon aktif dengan pori yang banyak, khususnya mesopori dan makropori yang banyak dan semakin banyaknya zat volatil yang menguap, sehingga mesopori dan makropori yang awalnya tertutupi oleh zat volatil akan menjadi terbuka (dibuktikan dengan meningkatnya nilai daya serap karbon aktif terhadap metilen biru). Luas permukaan tertinggi yaitu $532,72 \text{ m}^2/\text{gram}$ karbon aktif, yang terjadi pada suhu karbonisasi 600°C selama 70 menit.

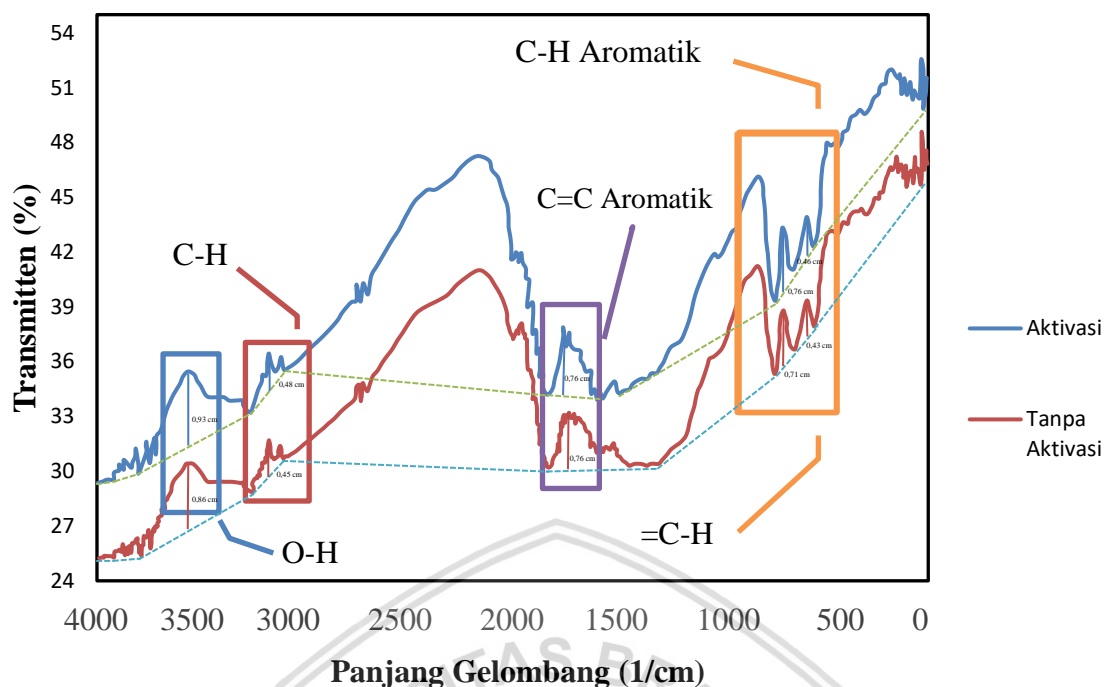
Tabel 4.3. Luas permukaan sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat pada kondisi yang sama

Sampel	Kondisi Operasi		Luas permukaan Karbon Aktif (m^2/gram)	
	T ($^\circ\text{C}$)	t (menit)	Sebelum Aktivasi	Setelah Aktivasi
14	600	70	532,720	427,210

Berdasarkan tabel 4.3, pada kondisi karbonisasi yang sama yaitu pada suhu karbonisasi 600°C selama 70 menit, karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat memiliki luas permukaan yang jauh lebih tinggi dibandingkan karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat.

4.2.5 Analisa FT-IR Karbon Aktif Sebelum dan Setelah Aktivasi Menggunakan Larutan Asam Fosfat

Selain dipengaruhi oleh luas permukaan dan jumlah mesopori yang terbentuk, proses adsorpsi minyak goreng bekas juga dipengaruhi oleh gugus fungsi yang terdapat pada adsorben yang digunakan. Oleh karena itu, karbon aktif yang dihasilkan akan dilakukan analisa terhadap FT-IR (*Fourier Transform Infrared*). Analisa FT-IR ini dilakukan pada sampel karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat menggunakan asam fosfat 10% selama 24 jam pada kondisi suhu karbonisasi 600°C selama 70 menit. Analisa ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk pada karbon aktif berdasarkan puncak serapan yang dihasilkan pada panjang gelombang tertentu. Berikut merupakan hasil karakterisasi FT-IR karbon aktif yang dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Hasil uji FT-IR karbon aktif

Berdasarkan grafik hasil uji FT-IR, diketahui bahwa sumbu x merupakan panjang gelombang, sedangkan sumbu y merupakan persen transmittan. Berdasarkan gambar 4.7, karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat memiliki gugus fungsi dan pola spektrum serapan yang relatif sama, namun memiliki nilai persen transmittan yang berbeda. Persen transmittan menunjukkan banyaknya cahaya yang diteruskan atau ditransmisikan oleh sampel (Harvey, 2000). Menurut Hukum Lambert-Beer, nilai transmittan berbanding terbalik dengan nilai absorbansinya. Semakin kecil persen transmittan, maka semakin banyak cahaya yang diserap oleh partikel (gugus fungsi karbon aktif) dan semakin sedikit cahaya yang diteruskan. Oleh karena itu, persen transmittan dapat menunjukkan kuantitas gugus fungsi yang dimiliki oleh sampel. Spektrum hasil uji FT-IR memiliki suatu *baseline* yang menunjukkan kondisi titik absorbansi bernilai nol, sehingga besarnya nilai absorbansi atau transmittan dapat diukur dari *baseline* spektrum tersebut (Smith, 2011). Besarnya nilai transmittan juga dapat diwakili dengan ketinggian *peak* dari *baseline*-nya. Gambar 4.7. menunjukkan bahwa persen transmittan karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat sedikit lebih besar dibandingkan dengan persen transmittan karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat. Hal tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat memiliki kuantitas gugus fungsi yang sedikit lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat. Hal ini menunjukkan bahwa proses aktivasi

menggunakan asam fosfat tidak menambah jenis gugus fungsi yang terbentuk, tetapi hanya menambah luas permukaan pori karbon aktif dan kuantitas gugus fungsi karbon aktif. Sedangkan untuk hasil analisa dari FT-IR yang terdapat gugus fungsi pada karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Hasil analisa FT-IR karbon aktif sebelum dan setelah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat

Gugus Fungsi	Nama Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)
C-H	Alkana	2850-2970 & 1340-1470
C=C	Aromatik	1500-1600
=C-H	Alkena	675-995
C-H	Aromatik	690-900
O-H	Hidroksil	3400-3645

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa terdapat beberapa gugus fungsi yang terbentuk pada karbon aktif. Gugus alkana (C-H) yang muncul pada puncak gelombang 2850-2970 cm⁻¹ dan 1340-1470 cm⁻¹, gugus alkena (=C-H) yang muncul pada puncak gelombang 675-995 cm⁻¹, serta gugus aromatik (C-H) yang terbentuk pada puncak gelombang 690-900 cm⁻¹, diduga terbentuk akibat proses pemutusan struktur molekul air pada suhu 150°C-240°C. Gugus alkohol (O-H) yang muncul pada puncak gelombang 3400-36450 cm⁻¹, diduga terbentuk ketika proses pemutusan struktur molekul air pada suhu 150°C-240°C. Sedangkan gugus aromatik (C=C) yang muncul pada puncak gelombang 1500-1600 cm⁻¹, diduga terbentuk akibat proses aromatisasi pada proses karbonisasi pada suhu 400°C-700°C (Chen, 2017).

Pada penelitian ini, asam lemak bebas merupakan parameter utama dalam menentukan kualitas minyak goreng. Asam lemak bebas harus diturunkan hingga titik minimal agar kualitas minyak goreng semakin meningkat. Asam lemak bebas memiliki sifat non-polar, sehingga dibutuhkan adsorben yang bersifat non-polar untuk mengikat asam lemak bebas dan memisahkannya dari minyak goreng. Berdasarkan tabel 4.4 diketahui bahwa dengan adanya gugus fungsi alkana (C-H), alkena (=C-H), dan gugus aromatik (C-H) yang bersifat non-polar, sehingga asam lemak bebas yang terkandung dalam minyak goreng bekas dapat terserap dengan maksimal. Sedangkan gugus hidroksil (O-H) yang bersifat polar akan mengikat molekul air yang terkandung didalam minyak selama proses adsorpsi, sehingga kadar air dalam minyak akan menurun.

Berdasarkan hasil karakterisasi karbon aktif (sebelum dan sesudah aktivasi menggunakan larutan asam fosfat) yang telah kami lakukan yaitu karakterisasi kadar air,

kadar abu, daya serap metilen biru, luas permukaan, dan analisa gugus fungsi karbon aktif, maka karbon aktif yang digunakan dalam pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara *batch* dan kontinyu adalah karbon aktif sebelum aktivasi menggunakan larutan asam fosfat, karena memiliki karakteristik yang paling memenuhi SNI 06-3730-1995 tentang karbon aktif.

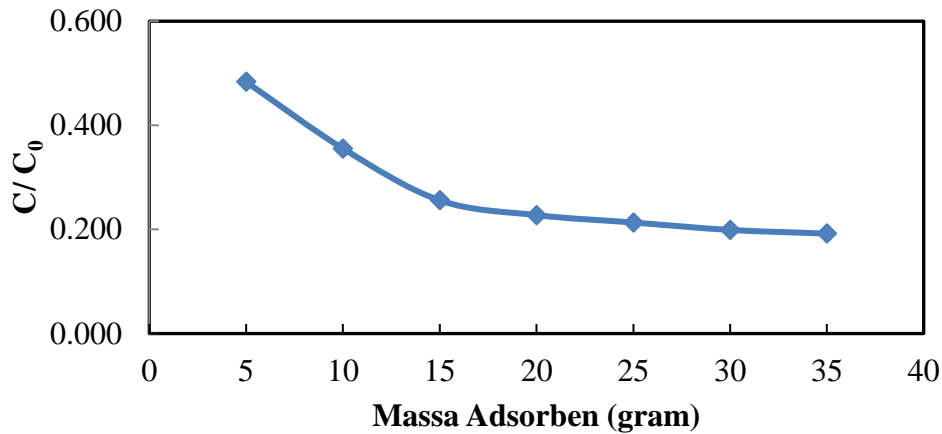
4.3 Uji Adsorpsi Batch

Dalam pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara *batch*, karbon aktif yang digunakan yaitu karbon aktif tanpa aktivasi menggunakan larutan asam fosfat dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit. Kadar asam lemak bebas akhir (C) hasil adsorpsi *batch* diukur menggunakan metode titrasi basa dengan NaOH 0,103 N. Selanjutnya kadar asam lemak bebas akhir (C) dibandingkan dengan kadar asam lemak bebas awal (C_0). Hasil data kesetimbangan adsorpsi ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Data hasil kesetimbangan adsorpsi

No.	Massa Adsorben (gram)	Kadar FFA Awal / C_0 (%)	Kadar FFA / C (%)	C_e / C_0
1	5	3,908	1,889	0,483
2	10	3,908	1,389	0,355
3	15	3,908	1,000	0,256
4	20	3,908	0,889	0,227
5	25	3,908	0,833	0,213
6	30	3,908	0,778	0,199
7	35	3,908	0,750	0,192

Dari data hasil kesetimbangan adsorpsi pada Tabel 4.5, dapat dibuat grafik kesetimbangan adsorpsi pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik kesetimbangan adsorpsi

Grafik pada gambar 4.8. menunjukkan bahwa konsentrasi akhir adsorbat (FFA) mengalami penurunan dari massa adsorben sebesar 5 sampai 15 gram, kemudian konstan saat massa adsorben 15 sampai 35 gram. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa adsorben, maka nilai C/C_0 akan semakin kecil. Nilai C/C_0 sudah mengalami konstan ketika massa adsorben 15 sampai 35 gram, sehingga dapat disimpulkan bahwa kesetimbangan sudah dicapai saat massa adsorben sebesar 15 gram dan massa minyak goreng bekas sebesar 100 gram. Selain itu, nilai BNT (10,757) > Beda Nyata (0,029), maka adsorpsi dengan karbon aktif bermassa 20 gram terhadap adsorpsi dengan karbon aktif bermassa 15 gram memiliki nilai yang tidak signifikan. Dengan demikian, adsorpsi *batch* sudah mencapai kesetimbangan pada massa 15 gram.

4.4 Pengujian Adsorpsi Isotermis

Pengujian adsorpsi isotermis dilakukan melalui pendekatan pada hasil kesetimbangan adsorpsi di sub-bab 4.3 menggunakan dua jenis persamaan yaitu persamaan adsorpsi *Freundlich* dan *Langmuir*. Hasil pendekatan tersebut dapat menentukan kapasitas adsorpsi dan kondisi lapisan pada karbon aktif dari serabut kelapa untuk proses adsorpsi asam lemak bebas. Pada pengujian adsorpsi isotermis dengan pendekatan *Freundlich* dan *Langmuir* Isotermis menggunakan data masa dalam kondisi kesetimbangan, yaitu dimulai pada massa 15 hingga 35 gram.

4.4.1 Adsorpsi *Freundlich* Isotermis

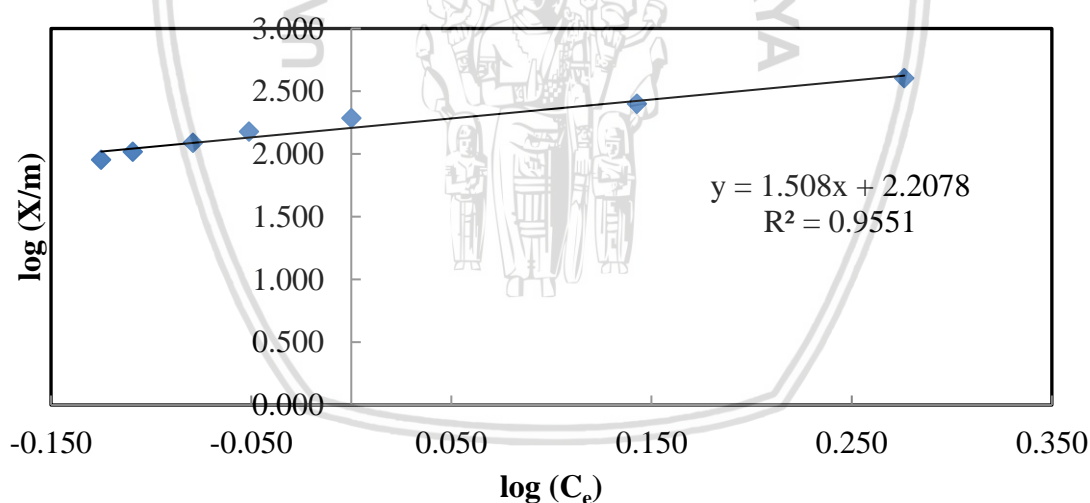
Pengujian persamaan adsorpsi *Freundlich* isotermis dibuktikan melalui grafik yang telah dilinierisasikan dari persamaan adsorpsi *Freundlich* isotermis, seperti persamaan yang telah dituliskan pada subab 2.11. Grafik hasil linearisasi persamaan *Freundlich* isoterm yang

dilinerisasi dapat diperoleh dengan memperhitungkan nilai $\log C_e$ sebagai sumbu x dan $\log (x/m)$ sebagai sumbu y. Hasil data tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Data hasil perhitungan pengujian persamaan *freundlich*

No.	Massa Adsorben (gram)	Kadar FFA Awal / C_0 (%)	Kadar FFA Kesetimbangan / C_e (%)	X (Δ)	X/m (mg/g)	log (X/m)	log (C_e)
1	5	3,908	1,889	2,019	403,744	2,606	0,276
2	10	3,908	1,389	2,519	251,877	2,401	0,143
3	15	3,908	1,000	2,908	193,846	2,288	0,000
4	20	3,908	0,889	3,019	150,941	2,179	-0,051
5	25	3,908	0,833	3,074	122,975	2,090	-0,079
6	30	3,908	0,778	3,130	104,331	2,018	-0,109
7	35	3,908	0,750	3,158	90,221	1,955	-0,125

Dari data hasil perhitungan pengujian persamaan *Freundlich* pada Tabel 4.6., dapat dibuat grafik yang sudah dilinerisasi seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4.9. Grafik persamaan adsorpsi isotermis *freundlich*

Dari hasil grafik persamaan adsorpsi *Freundlich* isoterm, dapat diperoleh bahwa persamaan *Freundlich* menjadi $\log (X/m) = 1,508 \log (C_e) + 2,2078$ dan $R^2 = 0,9551$. Hasil pengujian persamaan adsorpsi kadar asam lemak bebas oleh karbon aktif dari serabut kelapa ini telah memenuhi persamaan adsorpsi *Freundlich* dengan nilai $R^2 \geq 0,9$ (mendekati angka 1). Sehingga pada karbon aktif dari serabut kelapa ini memiliki model persamaan *Freundlich* yang memiliki lebih dari satu lapisan permukaan (*multilayer*) dan sisi-sisinya bersifat heterogen, yang mengartikan bahwa adanya perbedaan energi pengikat pada tiap sisi-sisinya

dan proses adsorpsi pada tiap sisi-sisi karbon aktif tersebut mengikuti *Freundlich* isotherm (Handayani, 2009).

Oleh sebab itu, penentuan kapasitas adsorpsi maksimum karbon aktif pada proses adsorpsi asam lemak bebas dihitung menggunakan persamaan adsorpsi *Freundlich*. Sehingga pada hasil perhitungan menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum pada karbon aktif dari serabut kelapa sebesar 32,272 mg asam lemak bebas yang diserap per gram karbon aktif (mg/g). Kapasitas adsorpsi ini merupakan kapasitas adsorpsi karbon aktif tanpa adanya perpindahan massa. Kapasitas adsorpsi yang diperoleh pada penelitian ini bernilai lebih besar dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Muharyanto dan Reza (2017) yakni dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 27,328 mg asam lemak bebas yang diserap per gram karbon aktif (mg/g). Hal tersebut dapat terjadi karena karakteristik karbon aktif yang digunakan berbeda walaupun bahan baku yang digunakan sama yaitu serabut kelapa. Perbedaan karakteristik diakibatkan perbedaan kondisi operasi pembuatan karbon aktif. Kondisi yang digunakan pada penelitian yakni dengan suhu 600 °C selama 70 menit, sedangkan kondisi yang digunakan pada penelitian sebelumnya yakni dengan suhu 600 °C selama 60 menit yang sebelumnya serabut kelapa telah di aktivasi.

Salah satu karakteristik karbon aktif yang sangat mempengaruhi kapasitas adsorpsi adalah daya serap metilen biru, karena ukuran partikel metilen biru mewakili asam lemak bebas yang terkandung pada minyak. Seperti yang sudah dijelaskan pada pembahasan 4.1.4 bahwa semakin rendah waktu karbonisasi maka daya serap akan semakin menurun, begitupula dengan karbon aktif yang diaktivasi juga akan memiliki nilai daya serap yang menurun karena adanya perubahan luas permukaan pori pada karbon aktif.

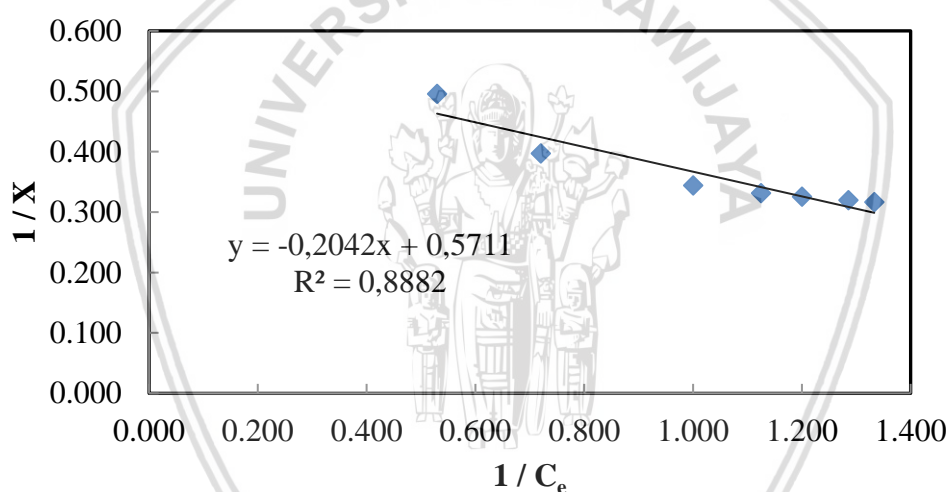
4.4.2 Adsorpsi *Langmuir* Isotermis

Pengujian persamaan adsorpsi *Langmuir* isotermis dibuktikan melalui grafik yang telah dilinierisasikan dari persamaan *Langmuir* isotherm, seperti persamaan yang telah dituliskan pada subab 2.11. Grafik linearisasi persamaan *Langmuir* isoterm diperoleh dengan memperhitungkan nilai $1/C_e$ sebagai sumbu x dan nilai dari $1/X$ sebagai sumbu y. Hasil data tersebut dapat ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Data hasil perhitungan pengujian persamaan *langmuir*

No.	Massa Adsorben (gram)	Kadar FFA Awal /C ₀ (%)	Kadar FFA Kesetimbangan /C _e (%)	X (Δ)	1 / X	1 / C _e
1	5	3,908	1,889	2,019	0,495	0,529
2	10	3,908	1,389	2,519	0,397	0,720
3	15	3,908	1,000	2,908	0,344	1,000
4	20	3,908	0,889	3,019	0,331	1,125
5	25	3,908	0,833	3,074	0,325	1,200
6	30	3,908	0,778	3,130	0,320	1,286
7	35	3,908	0,750	3,158	0,317	1,333

Dari data hasil perhitungan pengujian persamaan *Langmuir* pada Tabel 4.7, dapat dibuat grafik yang sudah dilinierisasi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.10.



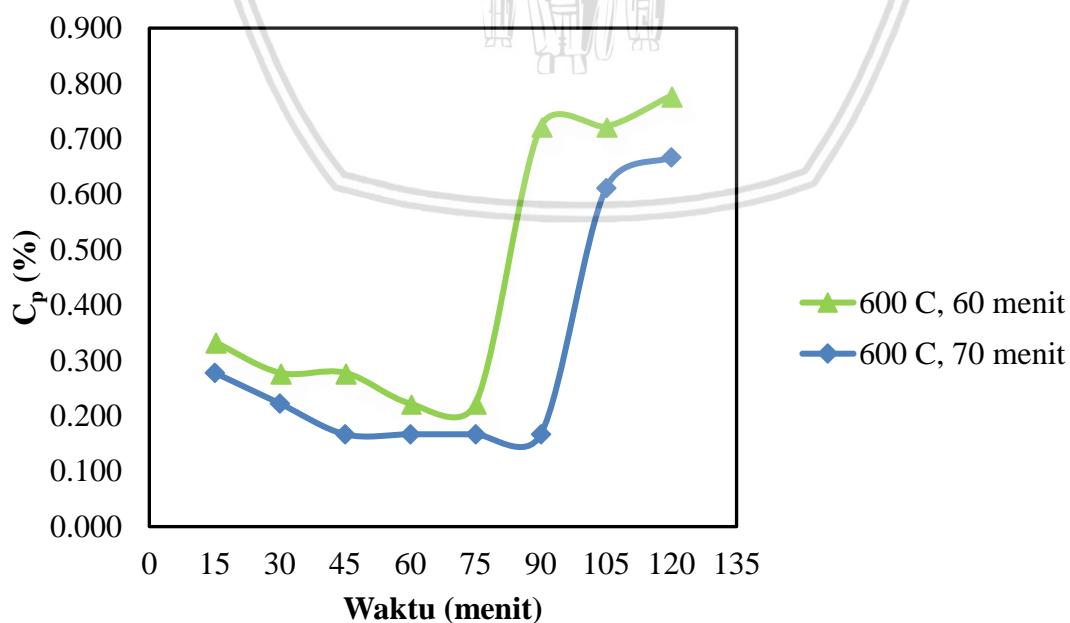
Gambar 4.10. Grafik persamaan adsorpsi isoterms *langmuir*

Dari hasil grafik persamaan adsorpsi *Langmuir* isotherm, dapat diperoleh bahwa persamaan *Langmuir* menjadi $1/X = 0,5711 - 0,2042 (1/C_e)$ dan $R^2 = 0,8882$. Hasil pengujian persamaan adsorpsi kadar asam lemak bebas oleh karbon aktif dari serabut kelapa ini tidak memenuhi persamaan adsorpsi *Langmuir* karena memiliki nilai $R^2 \leq 1$ (tidak mendekati 1). Selain itu, data hasil pendekatan terhadap persamaan *Langmuir* tidak linier. Sehingga hasil pendekatan ini tidak sesuai dengan adsorpsi isoterms dan penentuan kapasitas adsorpsi tidak menggunakan persamaan adsorpsi *Langmuir*. Persamaan yang mendekati *Langmuir* mengindikasikan bahwa adsorpsi hanya berlangsung pada satu lapisan permukaan (*monolayer*) dan sisi permukaannya bersifat homogen karena masing-masing sisi aktif hanya dapat mengadsorpsi 1 molekul (Sanjaya dan Rizcy, 2015).

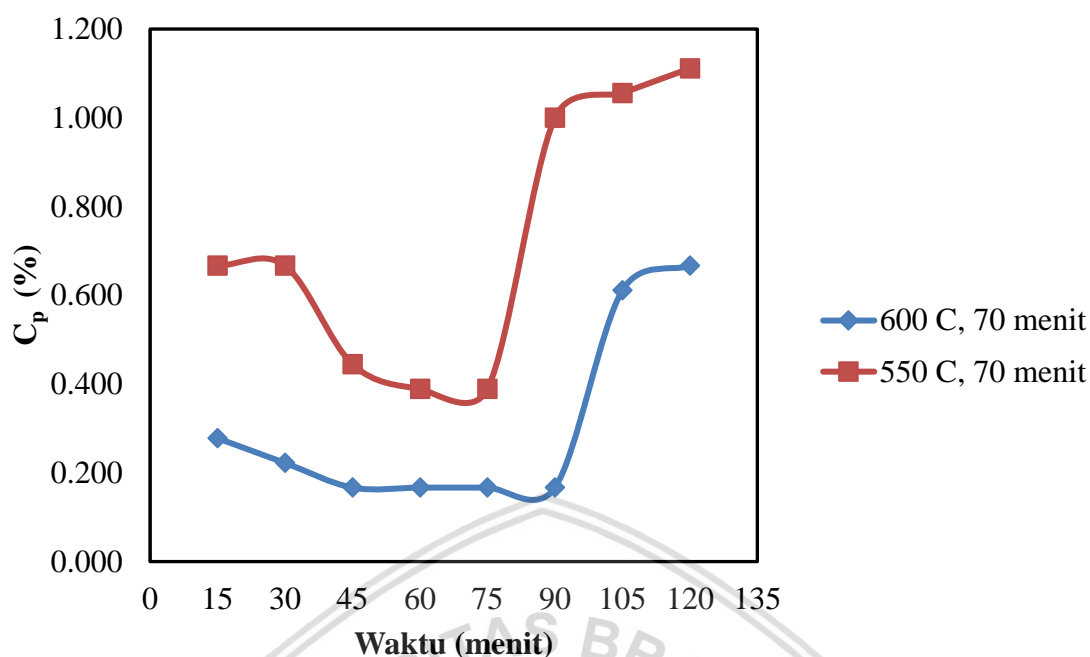
4.5 Pengaruh Suhu dan Waktu Karbonisasi Terhadap Pemisahan FFA pada Minyak Goreng Bekas Menggunakan Kolom Adsorpsi

Pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu menggunakan tiga sampel karbon aktif tanpa aktivasi menggunakan larutan asam fosfat dengan variasi suhu dan waktu karbonisasi, yaitu karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit, 600 °C selama 60 menit, dan 600 °C selama 70 menit. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan waktu karbonisasi pembuatan karbon aktif terhadap kapasitas adsorpsi karbon aktif dalam pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu. Pemilihan sampel ini Adsorpsi minyak goreng bekas dilakukan dengan menggunakan kolom adsorpsi *fixed bed*. Massa karbon aktif yang digunakan yaitu sebesar 45 gram. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada 45 gram karbon aktif dengan ukuran -60+80 mesh menghasilkan ketinggian *bed* sebesar 45 cm. Menurut Baquero, tinggi minimum *bed* karbon aktif yang dapat digunakan dalam proses adsorpsi yaitu 10 kali diameter dalam kolom adsorpsi yang digunakan. Penelitian ini menggunakan kolom adsorpsi dengan diameter dalam 3 cm, sehingga memiliki ketinggian *bed* minimum sebesar 30 cm. Ketinggian *bed* karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi ketinggian minimal yang dipersyaratkan dalam proses adsorpsi.

Hubungan antara waktu adsorpsi dengan konsentrasi adsorbat yang terdapat pada aliran keluaran menggunakan karbon aktif bervariasi suhu dan waktu karbonisasi ditunjukkan pada gambar 4.11 dan 4.12.



Gambar 4.11. Grafik antara waktu adsorpsi (menit) terhadap konsentrasi adsorbat pada aliran keluaran menggunakan karbon aktif bervariasi waktu karbonisasi.



Gambar 4.12. Grafik antara waktu adsorpsi (menit) terhadap konsentrasi adsorbat pada aliran keluaran menggunakan karbon aktif bervariasi waktu karbonisasi.

Berdasarkan gambar 4.11. dan 4.12., diketahui bahwa untuk masing-masing sampel karbon aktif (suhu dan waktu karbonisasi), pada awalnya konsentrasi adsorbat (FFA) pada aliran keluaran akan menurun hingga pada menit tertentu seiring berjalannya waktu adsorpsi dan kemudian akan meningkat hingga mendekati konsentrasi adsorbat (FFA) pada aliran umpan. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben karbon aktif mampu menyerap FFA hingga tingkat optimalnya dan akan mengalami kesetimbangan adsorpsi-desorpsi sehingga kemampuan adsorpsinya akan menurun (Thomas, 1998).

Pada sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit memiliki persentase reduksi FFA sebesar 96% dan mampu mempertahankan kemampuan adsorpsinya selama 90 menit, yang dibuktikan dengan penurunan nilai kadar FFA pada aliran keluaran seiring berjalannya waktu adsorpsi dan nilai kadar FFA mencapai nilai terendah pada menit ke-90, yaitu sebesar 0,167%. Kadar FFA minyak goreng pada menit ke-15 hingga menit ke-90 pada aliran keluaran telah memenuhi SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng. Setelah itu adsorben mulai mengalami kejenuhan pada menit ke-90 hingga menit ke-105, dimana kemampuan adsorpsinya menurun dan mulai terjadi proses desorpsi adsorbat yang dibuktikan dengan semakin meningkatnya nilai FFA pada aliran keluaran dan sudah tidak sesuai dengan SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng.

Sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 60 menit memiliki persentase reduksi FFA sebesar 94% dan mampu mempertahankan kemampuan adsorpsinya selama 75 menit, yang dibuktikan dengan penurunan nilai kadar FFA pada aliran keluaran seiring berjalannya waktu adsorpsi dan nilai kadar FFA mencapai nilai terendah pada menit ke-75, yaitu sebesar 0,222%. Kadar FFA minyak goreng pada aliran keluaran pada menit ke-15 belum memenuhi SNI minyak goreng dan baru memenuhi SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng pada menit ke-30 hingga menit ke-75. Setelah itu adsorben mulai mengalami kejenuhan pada menit ke-75 hingga menit ke-90, dimana kemampuan adsorpsinya menurun dan mulai terjadi proses desorpsi adsorbat yang dibuktikan dengan semakin meningkatnya nilai FFA dan sudah tidak sesuai dengan SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng.

Sedangkan sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit memiliki persentase reduksi FFA sebesar 90% dan mampu mempertahankan kemampuan adsorpsinya selama 75 menit, yang dibuktikan dengan penurunan nilai kadar FFA pada aliran keluaran seiring berjalannya waktu adsorpsi dan nilai kadar FFA mencapai nilai terendah pada menit ke-75, yaitu sebesar 0,389%. Setelah itu adsorben mulai mengalami kejenuhan pada menit ke-75 hingga menit ke-90, dimana kemampuan adsorpsinya menurun dan mulai terjadi proses desorpsi adsorbat yang dibuktikan dengan semakin meningkatnya nilai FFA. Meskipun demikian, terhitung dari awal adsorpsi, kadar FFA pada aliran keluaran tidak memenuhi SNI 01-3741-2013 tentang minyak goreng.

Berdasarkan gambar 4.11. diketahui bahwa sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit memiliki kemampuan adsorpsi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 60 menit, dimana sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit memiliki persentase reduksi FFA yang lebih tinggi yaitu sebesar 96% dan mampu mempertahankan kemampuan adsorpsinya lebih lama yaitu selama 90 menit. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan dari kedua struktur karbon aktif tersebut. Sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit memiliki waktu karbonisasi yang lebih lama. Semakin lama waktu karbonisasi, maka akan semakin banyak mesopori dan makropori yang terbentuk, walaupun pengaruhnya tidak signifikan (Marsh, 2001). Sehingga luas permukaan sampel dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit yang terbentuk sedikit lebih besar dibandingkan dengan sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 60 menit. Hal ini juga sesuai dengan data karakterisasi karbon aktif, dimana nilai daya serap karbon aktif terhadap metilen biru pada sampel dengan kondisi

suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit lebih besar dibandingkan dengan sampel dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 60 menit.

Selain itu gambar 4.12. menunjukkan bahwa sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit memiliki kemampuan adsorpsi yang jauh lebih tinggi dibandingkan sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit, dimana sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit memiliki persentase reduksi FFA yang lebih tinggi yaitu sebesar 96% dan mampu mempertahankan kemampuan adsorpsinya lebih lama yaitu selama 90 menit. Hal ini dikarenakan pada kondisi suhu karbonisasi 600 °C, komponen lignoselulosa, terutama komponen total selulosa terdekomposisi mendekati sempurna menjadi karbon aktif. Selain itu pada kondisi ini juga dihasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang jauh lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif yang dihasilkan pada kondisi suhu karbonisasi 550 °C. Semakin tinggi suhu karbonisasi, maka akan semakin banyak mesopori dan makropori yang terbentuk (Marsh, 2001). Sehingga luas permukaan sampel dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit yang terbentuk sedikit lebih besar dibandingkan dengan sampel karbon aktif dengan kondisi suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit. Hal ini juga sesuai dengan data karakterisasi karbon aktif, dimana nilai daya serap karbon aktif terhadap metilen biru pada sampel dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit jauh lebih besar dibandingkan dengan sampel dengan kondisi suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit.

Selain dipengaruhi oleh pori karbon aktif (mesopori dan makropori), penurunan kadar FFA minyak goreng bekas selama proses adsorpsi kontinyu juga disebabkan oleh gugus-gugus yang terdapat pada karbon aktif. Gugus fungsi alkana (C-H), alkena (=C-H), dan gugus aromatik (C-H) bersifat non-polar, begitu juga dengan FFA yang bersifat non-polar. Hal ini menyebabkan gugus-gugus fungsi tersebut dapat mengikat molekul asam lemak bebas (FFA) yang terkandung di dalam minyak goreng bekas secara fisika (adsorpsi fisika), sehingga dapat menurunkan nilai kadar FFA dalam minyak.

Selain itu, pada uji adsorpsi kontinyu, laju alir umpan dan keluaran mengalami perbedaan, dimana laju alir keluaran jauh lebih kecil dibandingkan dengan laju alir umpan. Perbedaan nilai laju alir ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu viskositas dan ukuran partikel karbon aktif. Viskositas dari minyak goreng sangat tinggi yakni sebesar 33-51 centipose (Sanli dkk, 2011), sehingga kemampuan untuk mengalir selama proses adsorpsi sangat rendah. Selain itu, kerapatan jarak antar partikel karbon aktif juga sangat tinggi, karena karbon aktif yang digunakan memiliki ukuran partikel yang kecil yaitu 0,224 mm

dengan keadaan -60 +80 mesh, nilai ukuran partikel dihitung melalui persamaan ukuran partikel (D_p) pada Richardson (2002). Kecilnya ukuran partikel menyebabkan jarak antar partikel semakin dekat dan rongga kosong yang terbentuk semakin kecil, sehingga minyak goreng bekas akan semakin sulit melewati adsorben karbon aktif. Viskositas minyak goreng bekas yang tinggi dan jarak antar partikel karbon aktif yang rapat membuat minyak goreng bekas akan tertahan dibagian atas *bed* adsorben (*flooding*) karena adanya hambatan untuk mengalir secara gravitasi dari bagian atas *bed* menuju bagian tengah hingga bagian bawah *bed*, sehingga akan menyebabkan laju alir keluaran jauh lebih kecil dibandingkan laju alir umpan.

4.6 Hasil Uji Parameter Minyak Goreng Bekas

Berikut ini tabel yang menunjukkan hasil uji kualitas minyak goreng bekas sebelum dan setelah adsorpsi kontinyu pada kolom *fixed bed* menggunakan 45 gram karbon aktif dan laju alir keluaran 0,67 ml/ menit .

Tabel 4.8. Data hasil uji minyak goreng bekas

Parameter	Minyak Goreng Bekas Sebelum Adsorpsi	Minyak Goreng Bekas Setelah Adsorpsi			SNI Minyak Goreng
		Sampel 11	Sampel 13	Sampel 14	
Kadar Air (%)	0,983	0,176	0,143	0,127	Maks. 0,15
Kadar FFA (%)	3,907793	0,3889	0,2222	0,1667	Maks. 0,3

Keterangan :

Sampel 11 = Karbon aktif dengan Kondisi Karbonisasi 550 °C selama 70 menit

Sampel 13 = Karbon aktif dengan Kondisi Karbonisasi 600 °C selama 60 menit

Sampel 14 = Karbon aktif dengan Kondisi Karbonisasi 600 °C selama 70 menit

Tabel 4.8. menyajikan data hasil uji kualitas minyak goreng bekas baik sebelum maupun setelah adsorpsi kontinyu dan membandingkan data hasil uji dengan SNI minyak goreng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas minyak goreng bekas sebelum proses adsorpsi kontinyu masih tidak sesuai dengan SNI minyak goreng yang ditandai dengan tingginya nilai beberapa parameter minyak goreng yang masih melebihi batas maksimal yang telah ditetapkan dalam SNI.

Berdasarkan tabel 4.8. diketahui bahwa terdapat penurunan nilai kadar FFA dan kadar air minyak goreng bekas setelah proses adsorpsi kontinyu menggunakan karbon aktif. Penurunan nilai kadar FFA selama proses adsorpsi menggunakan karbon aktif disebabkan oleh dua faktor, yaitu adanya pori-pori karbon aktif (mesopori dan makropori) dan gugus

fungsi karbon aktif. Kedua faktor tersebut berfungsi dalam proses pengikatan dan penyisihan molekul FFA dari dalam minyak goreng. Sedangkan penurunan nilai kadar air disebabkan oleh adanya gugus hidroksil O-H pada karbon aktif yang bersifat polar, sehingga dapat mengikat molekul air yang terdapat dalam minyak goreng, sehingga nilai kadar air setelah proses adsorpsi akan menurun.

Berdasarkan tabel 4.8. juga diketahui bahwa kualitas minyak goreng setelah adsorpsi yang memenuhi SNI Minyak Goreng 01-3741-2013 tentang kadar air dan kadar FFA yaitu adsorpsi dengan menggunakan sampel karbon aktif 13 (suhu karbonisasi 600 °C selama 60 menit) dan sampel karbon aktif 14 (suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit). Sedangkan adsorpsi yang menggunakan sampel karbon aktif 11 (suhu karbonisasi 550 °C selama 70 menit) menghasilkan minyak goreng dengan kualitas yang tidak memenuhi SNI Minyak Goreng 01-3741-2013 tentang kadar air dan kadar FFA. Selain itu adsorpsi yang menggunakan sampel karbon aktif 14 merupakan proses adsorpsi yang optimal karena mampu menghasilkan kualitas minyak goreng yang paling baik dibandingkan dengan dua sampel karbon aktif yang lain.

Performa penyerapan FFA selama 90 menit pada sampel karbon aktif 11, 13 dan 14 dengan jumlah 45 gram untuk masing – masing sampelnya dapat dilihat melalui tabel berikut.

Tabel 4.9. Data performa karbon aktif dalam penyerapan FFA

Sampel	Efisiensi pemisahan (%)	FFA Terpisahkan (gram)
11	90%	49,583
13	94%	51,932
14	96%	52,715

Keterangan :

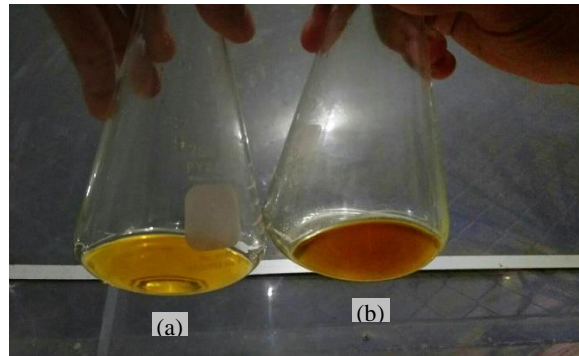
Sampel 11 = Karbon aktif dengan Kondisi Karbonisasi 550 °C selama 70 menit

Sampel 13 = Karbon aktif dengan Kondisi Karbonisasi 600 °C selama 60 menit

Sampel 14 = Karbon aktif dengan Kondisi Karbonisasi 600 °C selama 70 menit

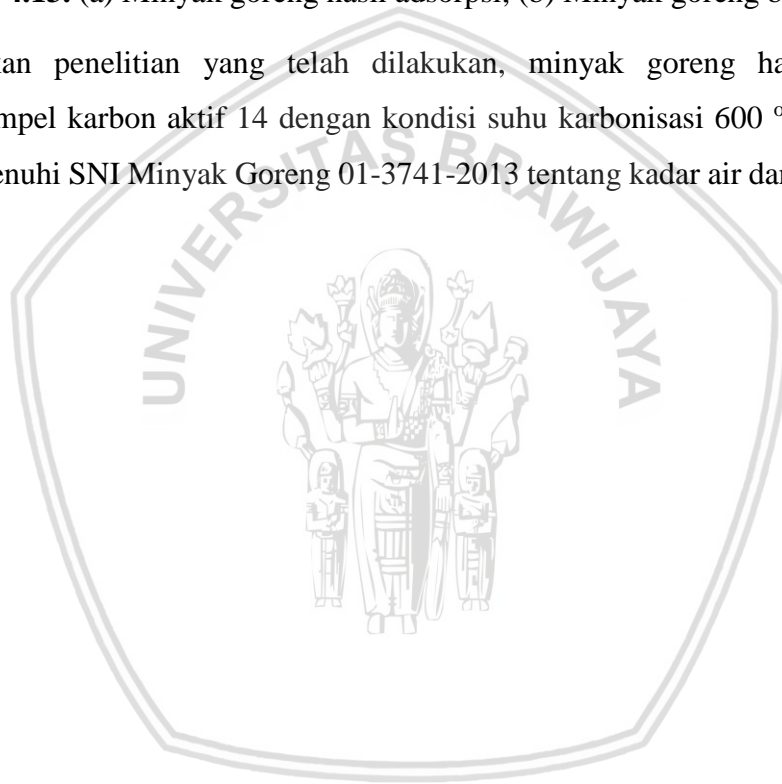
Pada tabel 4.9. menunjukkan bahwa sampel karbon aktif 14 memiliki kemampuan menyerap FFA lebih banyak saat waktu adsorpsi mencapai 90 menit pada kondisi operasi dan jumlah karbon aktif yang sama. Hal tersebut dibuktikan bahwa sampel karbon aktif 14 mampu menurunkan kadar FFA minyak goreng bekas dari 3,907% menjadi 0,167%, dan mampu menurunkan nilai kadar air pada minyak goreng bekas dari 0,983% menjadi 0,127%. Selain itu, minyak goreng hasil adsorpsi oleh sampel karbon aktif 14 mampu memberikan

perubahan fisik berupa warna yang lebih terang yang mana ditunjukkan melalui gambar berikut.



Gambar 4.13. (a) Minyak goreng hasil adsorpsi, (b) Minyak goreng bekas

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, minyak goreng hasil adsorpsi menggunakan sampel karbon aktif 14 dengan kondisi suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit telah memenuhi SNI Minyak Goreng 01-3741-2013 tentang kadar air dan kadar FFA.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi, maka kualitas karbon aktif yang dihasilkan akan semakin meningkat.
2. Suhu karbonisasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan. Suhu karbonisasi 400 °C - 450 °C menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik yang tidak memenuhi SNI Karbon Aktif, sedangkan suhu karbonisasi 500 °C - 600 °C menghasilkan karbon aktif dengan karakteristik yang telah memenuhi SNI Karbon Aktif tentang parameter kadar air, kadar abu, dan daya serap metilen biru.
3. Waktu karbonisasi memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap karakteristik karbon aktif yang dihasilkan, dibuktikan dengan nilai BNT > nilai beda nyata pada Analisa BNT.
4. Aktivator H₃PO₄ tidak sesuai ketika diaplikasikan dalam proses pembuatan karbon aktif untuk pemisahan FFA pada minyak goreng bekas.
5. Pada pemisahan FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu, semakin tinggi suhu dan waktu karbonisasi, kadar FFA pada aliran keluaran akan semakin kecil. Nilai persentase reduksi FFA terbesar terdapat pada karbon aktif yang diproduksi dengan suhu karbonisasi 600 °C selama 70 menit yaitu sebesar 96% hingga menit ke-90, dengan kualitas minyak goreng hasil proses adsorpsinya telah memenuhi SNI minyak goreng 01-3741-2013 tentang parameter kadar air dan kadar FFA, yaitu kadar air 0,127% dan kadar FFA 0,167%.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian adsorpsi batch dengan variasi waktu adsorpsi *batch* dan massa adsorben karbon aktif terhadap kadar FFA untuk pembuatan grafik kesetimbangan adsorpsi *batch*.
2. Karbon aktif dari serabut kelapa dalam bentuk serbuk kurang sesuai ketika digunakan dalam proses adsorpsi FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu di dalam kolom. Proses adsorpsi FFA pada minyak goreng bekas secara kontinyu dapat

dilakukan dengan menggunakan karbon aktif dalam bentuk serabut, akan tetapi terdapat kendala dalam penyeragaman ukuran dari karbon aktif tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, Khamaluddin, Yusnimar, dan Zultiniar. 2016. *Penentuan Model Isoterm Adsorpsi Ion Cu (II) Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa*. Jom FTEKNIK Volume 3 No. 2.
- Apriadji, Wied Harry. 2008. *Resep Sehat Alami Wied Harry Di TV*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Aritonang, Henry F Dan Herling D. Tangkuman. 2009. *Perbandingan Kualitas Karbon Aktif yang Dibuat dari Batok Kelapa Hibrida dan Batok Kelapa Dalam*. Manado : Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi.
- Astuti, Widi, Rizki Agus Hermawan, Hariono Mukti dan Nurul Retno Sugiyono. 2016. *Preparation of Activated Carbon from Mangrove Propagule Waste by H_3PO_4 Activation for Pb^{2+} Adsorption*. Jakarta: AIP Publishing.
- Ayustaningawarno, Fitriyono. 2012. *Aplikasi Pengolahan Pangan*. Yogyakarta : Depublish.
- Bandosz, Teresa J. 2006. *Activated Carbon Surfaces In Environmental Remediation*. New York: Elsevier Inc.
- Boziaris, Ioannis S.. 2014. *Novel Food Preservation and Microbial Assesment Techniques*. Suite: Taylor & Francis Grop, LLC.
- Burton, George. 2000. *Chemical Ideas*. London: Heinemann Educational Publisher.
- Çanakçı, M., & Özsezen, A. N. 2010. *Evaluating Waste Cooking Oils as Alternative Diesel Fuel*. Gazi University Journal Of Science, 18(1), 81-91.
- Chang, Raymond. 2012. *Kimia Dasar Jl. 1 Ed. 3*. Jakarta : Erlangga.
- Chen, Jonathan Y. 2017. *Activated Carbon Fiber and Textiles*. UK: Elsevier Ltd.
- Chow, Ching Kuang. 2000. *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications Second Edition, Revised, and Expanded*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Chowdhury, Zaid K., R. Scott Summers, Garret P. Westerhoff, Brian J. Leto, Kirk O. Nowack, dan Christopher J. Corwin. 2013. *Activated Carbon Solutions for Improving Water Quality*. United States : American Water Works Association.
- CV. Sumber Sari. 2015. *Spesifikasi Cocofiber*. <http://www.sumbersariss.com> (diakses tanggal 27 Februari 2018).
- Desy, Andi Suharman, dan Rananda Vinsiah. 2015. *Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi Terhadap Daya Serap Karbon Aktif Cangkang Kulit Buah Karet (Hevea Brasilliensis)*. Prosiding SEMIRATA bidang MIPA BKS-PTN Barat Hal. 294 – 303.
- Ferrero, Franco. 2009. *Adsorption of Methylene Blue on Magnesium Silicate: Kinetics, Equilibria, and Comparison with Other Adsorbents*. Journal of Environmental Sciences, 22(3) 467–473.

- Goncalves dkk.. 2015. *Micellar Lipid Composition Affects Micelle Interaction With Class B Scavenger Receptor Extracellular Loops*. Journal of Lipid Research Volume 56.
- Goyal, Meenakshi And Roop Chand Bansal. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. Suite : Taylor & Francis Group, LLC.
- Handayani, Murni dan Eko Sulistiyono. 2009. *Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) Oleh Zeolit*. Banten: Pusat Penelitian Metalurgi-LIPI.
- Hartanto, Singgih dan Ratnawati. 2010. *Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sawit Dengan Metode Aktivasi menggunakan larutan asam fosfat*. Tangerang. Indonesian Journal of Materials Science Vol. 12, No. 1.
- Hartini, S., A.B. Wijaya, N. Widjojo, M. Susilowati dan G. Petriana. 2013. *Pemanfaatan Serabut Kelapa Termodifikasi Sebagai Bahan Pengisi Bantal dan Matras*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII, 4(1) : 395-401.
- Harvey, David. 2000. *Modern Analytical Chemistry*. USA : The McGraw-Hill Companies.
- Hendroko, Roy, Erliza Hambali, Siti Mujdalipah, dkk. 2007. *Teknologi Bioenergi*. Jakarta : Agro Media Pustaka.
- Herwanda, Anita Ekawati. 2011. *Kajian Proses Pemurnian Minyak Biji Bintaro (Cerbera manghas l.) Sebagai Bahan Bakar Nabati*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Husin, Nurul Izza, Nor Aimi Abdul Wahab, Norain Isa, dan Rozan Boudville. 2011. *Sorption Equilibrium and Kinetics of Oil from Aqueous Solution Using Banana Pseudostem Fibers. International Conference on Environment and Industrial Innovation IPCBEE vol.12*.
- Kamal, Netty. 2009. *Pemakaian Adsorben Karbon Aktif dalam Pengolahan Limbah Industri Batik*. Jurnal Teknologi Kimia:77-80.
- Kenneth, E. Noll, Vassilious Gounaris, dan Wain-Sun Hou. *Adsorption Technology for Air and Water Control*. New York : CRC Press, Ltd.
- Knothe, G., Krahel, J., & Van Gerpen, J. 2010. *The Biodiesel Handbook (Second Edition)* (pp. v): AOCS Press.
- Lee, Chuan Li dkk.. 2017. *Research Article Effect of Reaction Time and Temperature on the Properties of Carbon Black Made from Palm Kernel and Coconut Shell*. Asian Journal of Scientific Research. ISSN 1992-1454.
- Lestari, Khornia Dwi L.F., dkk. 2017. *Pengaruh Waktu dan Suhu Pembuatan Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa Sebagai Upaya Pemanfaatan Limbah Dengan Suhu Tinggi Secara Pirolisis*. Jurnal Inovasi Teknik Kimia, Vol 2., No.1. Universitas Wahid Hasyim.
- Mahreni. 2010. *Peluang dan Tantangan Komersialisasi Biodiesel-Review*. Jurnal Eksergi Volume X nomor 2. Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Pembangunan Nasional, Yogyakarta.

- Marsh, Harry. 2001. *Activated Carbon Compendium: A Collection Of Papers From The Journal Carbon*. UK: Elsevier Ltd.
- Mcketta, John J. 1990. *Unit Operations Handbook: Volume 1 Mass Transfer (In Two Volumes)*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Mishra, Ragvendra Kumar dkk.. 2017. *Spectroscopic Methods for Nanomaterials Characterization*. Hampshire Street: Elsevier.
- Mohanty, Kaustubha, Mousam Jha, B.C. Meikap, dan M.N. Biswas. 2005. *Removal of Chromium (VI) from Dilute Aqueous Solutions by Activated Carbon Developed From Terminalia arjuna Nuts Activated with Zinc Chloride*. Chemical Engineering Science 60, 3049 – 3059, India.
- Muharyanto, Mochammad Wahyu dan Mochamad Reza Pahleva. 2017. *Pemurnian Minyak Goreng Bekas Dengan Karbon Aktif dari Serabut Kelapa Secara Kontinyu Menggunakan Kolom Adsorpsi*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Mukherjee, T.K. And Gupta C. K. 2000. *Hydrometallurgy In Extraction Processes, Volume 2*. Florida : CRC Press, Inc.
- Ncibi, Mohamed Chaker And Sarra Gaspard. 2014. *Biomass For Sustainable Applications: Pollution Remediation and Energy*. UK : The Royal Society Of Chemistry.
- Nielsen, S. Suzanne. 2009. *Food Analysis*. New York : Springer, Inc.
- Noll, Kenneth E., Vassilios Gounaris, dan Wain-Sun Ho. 2006. *Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control*. United States : John Wiley & Sons, Inc.
- Pakpahan, Julius Fernando, Tomas Tambunan, Agnes Harimby, & M. Yusuf Ritonga. 2013. *Pengurangan FFA dan Warna dari Minyak Jelantah dengan Adsorben Serabut Kelapa dan Jerami*. Jurnal Teknik Kimia USU, Vol.2, No1, Medan.
- Parchem. 2009. *Material Safety Data Sheet: Activated Carbon*. New York : Huguenot, Inc.
- Permana Edwin, Tri Kurnia Dewi Dan Arif Nurrahman. 2009. *Pembuatan Karbon Aktif dari Kuli Ubi Kayu (Mannihot Esculenta) No.1, Vol. 16*. Palembang : Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.
- Putri, Endah M.M., Gilar S. Pambayun, dan Remigugius Y.E. Yulianto. 2013. *Pembuatan Karbon Aktif dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator $ZnCl_2$ Dan Na_2CO_3 Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah*. Surabaya : Teknik Kimia, FTI, ITS.
- Putro, Sartono, Musabbikhah, dan Suranto. 2015. *Variasi Temperatur dan Waktu Karbonisasi untuk Meningkatkan Nilai Kalor dan Memperbaiki Sifat Proximate Biomassa Sebagai Bahan Pembuat Briket Yang Berkualitas*. Simposium Nasional RAPI XIV - 2015 FT UMS, ISSN 1412-9612.

- Ratnawati dan Singgih Hartanto. 2010. *Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit Dengan Metode Aktivasi menggunakan larutan asam fosfat*. Tangerang: Jurnal Sains Materi Indonesia.
- Sagala, Lusiana Anita Br. dkk.. 2015. *Penumbuhan Miselium Jamur Tiram Putih (Pleurotus Ostreatus) Pada Media Sorgum dan Analisis Fourier Transform Infrared (FTIR)*. Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2015. Volume IV. p-ISSN: 2339-0654 e-ISSN: 2476-9398.
- Samaniego, R. A. 2002. *Activated Carbon From Some Agricultural Waste Products*. The Philippine Agriculturist. Vol. 29, No. 4: 275-295.
- Samuel, D. Faust & Osman M. Aly. 1997. *Chemistry of Water Treatment*. London : Lewis Publisher.
- Sanjaya, Ari Susandy, dan Rizcy Paramita Agustine. 2015. *Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang, Konversi, Volume 4 No.1*. Samarinda: Universitas Mulawarman.
- Sattler, Klaus D. 2016. *Carbon Nanomaterials Sourcebook, Volume II*. Suite: Taylor & Francis Group, LLC
- ScienceLab. 2013. *Material Safety Data Sheet: Phosphoric Acid 10%*. Texas: Sciencelab.com, Inc.
- ScienceLab. 2013. *Material Safety Data Sheet: Sodium Hydroxide 1.0 N*. Texas: Sciencelab.com, Inc.
- ScienceLab. 2013. *Material Safety Data Sheet: Sodium Thiosulfate 0.1 N*. Texas: Sciencelab.com, Inc.
- Seader, J. D. dan Ernest J, Henley. 2006. *Separation Process Principles Second Edition*. United States : John Wiley & Sons, Inc.
- Sembiring, M. T. & Sinaga T. S. 2003. *Karbon Aktif (Pengenalannya dan Proses Pembuatannya)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Sumatera Utara: Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Sheppard, A.J. 2011. *Lipid Manual*, U.S, Food and Drug Administration. Washington : Danish Food Information
- Sing dkk.. 1985. *Reporting Physisorption Data For Gas/Solid Systems With Special Reference to The Determination Of Surface Area And Porosity*. Great Britain. Pure & Appl. Chem., Vol. 57, No. 4, pp. 603—619, 1985.
- Smith, Brian C.. 2011. *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Florida: CRC Press.
- SNI. 1998. *SNI 01-3555-1998: Cara Uji Minyak dan Lemak*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI. 1995. *SNI 01-3741-1995: Minyak Goreng*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- SNI. 2013. *SNI 01-3741-2013: Minyak Goreng*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI. 1995. *SNI 06-3730-1995: Karbon Aktif*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Strayer, Dennis. 2006. *Food Fats and Oils*. New York: Institute of Shortening and Wdible Oils.
- Suhas, Gupta, V. K., Carrott, P. J. M., Singh, R., Chaudhary, M., & Kushwaha, S. (2016). *Cellulose: A Review As Natural, Modified And Activated Carbon Adsorbent*. Bioresource Technology, 216, 1066-1076.
- Susinggih, Wijana, Arif Hidayat, dan Nur Hidayat. 2005. *Mengolah Minyak Goreng Bekas*. Surabaya : Trubus Agrisarana.
- Stier, R.F. 2003. *Finding Functionality in Fat and Oil*. www.preparedFood.com (diakses pada tanggal 05 Oktober 2017).
- Thomas, W. J. dan Barry Crittenden. 1998. *Adsorption Technology and Design*. United States : Elsevier Science & Technology Books.
- Verma, D. dan Varanasi. 2015. *Coir Fibre Reinforcement and Application in Polymer Composites*. Journal of Materials and Environmental Sciences (4): 263–276.
- Villacarias, F. 2005. *Adsorption of Simple Aromatic Compunds on Activated Carbon*. Journal of Colloid and Interface Science. 293: 128-136.
- Vinsiah, Rananda, Andi Suharman, dan Desi. 2010. *Pembuatan Karbon Aktif Dari Cangkang Kulit Buah Karet (Hevea brasilliensis)*. Jurnal Teknik Kimia. Program Studi Pendidikan Kimia FKIP Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Yustinah, Hartini. 2011. *Adsorpsi Minyak Goreng Bekas Menggunakan Karbon Aktif dari Serabut Kelapa*. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia. ISSN 1693 – 4393, Yogyakarta.
- Zhu, John, Denisa Hulicova-Jurcalova, Thomas E. Rufford. 2013. *Green Carbon Materials: Advances dnd Applications*. Suite : Taylor & Francis Group, LLC.
- Zuhroh, Naelatus. 2015. *Adsorpsi Krom (VI) Oleh Arang Aktif Serabut Kelapa (Cocos nucifera) Serta Imobilisasinya Sebagai Campuran Batako*. Semarang : Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Semarang.



Halaman ini sengaja dikosongkan